

**In-situ Versuche zur Verbundankopplung
eines Strebepfeilers an die Palaswand
der Runneburg in Weißensee**

Berichte zur Denkmalpflege-Forschung

Dipl.-Ing. H. Wigger

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. F.S. Rostásy

Dezember 1997

Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie

Vorhaben BAU 7025 B

UB Braunschweig 84

3499-469-0



**In-situ Versuche zur Verbundankopplung
eines Strebepfeilers an die Palaswand
der Runneburg in Weißensee**

Berichte zur Denkmalpflege-Forschung

Dipl.-Ing. H. Wigger
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. F.S. Rostásy

Dezember 1997

Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie

Vorhaben BAU 7025 B

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Problemstellung und Ziel	3
3	Abriss der Baugeschichte	4
4	Sondierung	5
4.1	Geotechnische Untersuchungen	5
4.2	Rißbreitenänderung	7
4.3	Baustoffkundliche Untersuchungen	8
4.3.1	Eigenschaften des Travertins	8
4.3.2	Eigenschaften der Mörtel	8
4.3.3	Mauerwerksgefüge	10
4.3.4	Endoskopieuntersuchungen	11
4.4	Sondierungsergebnisse	11
5	Gegenwärtige Sanierungsmaßnahmen	12
5.1	Statisch-konstruktive Sicherungsmaßnahmen im Überblick	12
5.2	Sicherungsmaßnahmen und Untersuchungen am östlichen Strebepfeiler	13
5.2.1	Überblick über die Arbeiten der MPA Braunschweig	13
5.2.2	Fugensteinsetzung	14
5.2.3	Vernadelung, Injektion und Vorspannung des Strebepfeilers	15
5.2.4	Lastabtrag in den Baugrund	15
6	Belastungsversuche	17
6.1	Ziel und Vorgehen	17
6.2	Versuchs- und Meßeinrichtung	18
6.2.1	Versuchsaufbau	18
6.2.2	Meßtechnik	18
6.3	Erster Belastungsversuch vor der Konsolidierung des Strebepfeilers	20
6.4	Vergleich und Bewertung der Ergebnisse	25
7	Zusammenfassung	27
8	Literatur	28
	Anhang	

1 EINLEITUNG

Wände aus historischem Natursteinmauerwerk weisen häufig beträchtliche Schiefstellungen auf. Meist sind diese mit hohen Kantenpressungen im Fundamentbereich verbunden, die Setzungen und Fundamentverdrehungen erzeugt haben. Um den Verdrehungen entgegen zu wirken, hat man - vorbeugend oder nachträglich - Strebepfeiler gegen die Wände gesetzt.



Bild 1: Strebepfeiler an der Südwand der Runneburg

Die Palaswand der Runneburg in Weißensee wurde ca. 1578 im Zuge einer Erweiterung bzw. Aufstockung durch vier Strebepfeiler verstärkt. Während der Sanierung in den dreißiger Jahren wurde ein fünfter Strebepfeiler erstellt. Eine Verzahnung der Strebepfeiler mit dem vorhandenen Mauerwerk ist nicht zu erkennen. Die Palaswand weist heute eine erhebliche Schiefstellung auf. Dessen Ursache ist in der Gründung der Burg auf humosen Baugrund zu suchen. Durch die Aufstockung des Gebäudes erhöhte sich die Belastung des Baugrundes, das Gebäude bewegt sich auf dem gleitfähigen Baugrund hangabwärts.

Das Mauerwerk ist aus Travertin mit Gipsmörtel hergestellt. In den siebziger Jahren wurden Sicherungsmaßnahmen durch Zementinjektionen und Vernadelungen vorgenommen. Ettringittreiben infolge der Zementinjektionen sowie die andauernde Hangabwärtsbewegung führten zu weiteren Schäden.

Umfangreiche Sicherungsarbeiten wurden erforderlich. Die Arbeiten am Turm und am Marstall sind abgeschlossen. In Ausführung befinden sich die Sicherungsarbeiten gegen eine weitere Hangabwärtsbewegung am Hauptgebäude. An der Südostecke wurde ein Strebepfeiler mittels Vernadelung und Injektion saniert. Die Wirksamkeit dieser Maßnahme wurde mittels einer Probelastung vor und nach der Sanierung überprüft.

2 PROBLEMSTELLUNG UND ZIEL

Strebepfeiler sind häufig „nachträglich“ an Wände angesetzte Stützkonstruktionen, um der Verdrehbewegung der ausmittig belasteten Wände entgegen zu wirken. Zu hohe Kantenpressung, eingerissene Sohlfugen, beschleunigte Konsolidierungssetzung u.a.m. führen zu fortschreitender Schiefstellung der Mauerwerkswand.

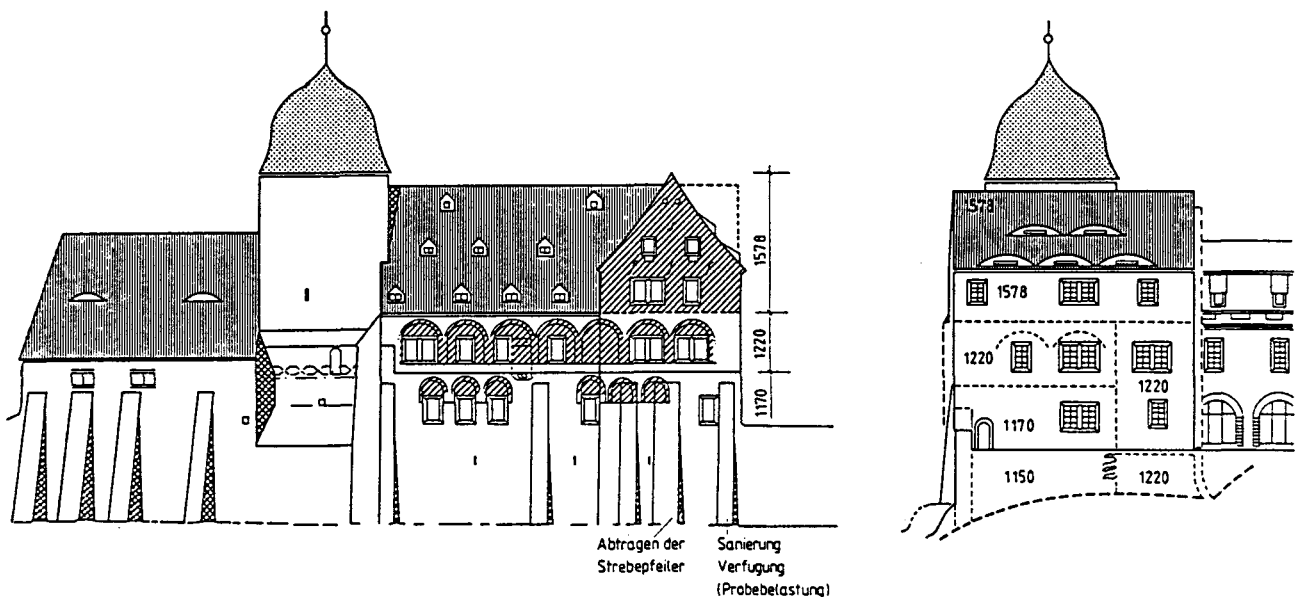
Eine effektive Stützwirkung durch den Strebepfeiler bedingt zum einen die verschiebungsarme Verbundankopplung des Strebepfeilers an die Wand (Verzahnung, Scherverbund) und einen Steifemodul des Bodens, der jenem unter der Wandsohle gleicht. Diese zweite Bedingung ist meist nicht eingehalten, weil der Boden unter der Wand bereits beträchtlich vorkonsolidiert worden ist. Die Folge ist: der Strebepfeiler springt nicht an, wirkt sogar als kippungsfördernder „Rucksack“.

An der Südwand der Runneburg wurde ein Strebepfeiler durch Pfähle nachgegründet sowie durch injizierte Nadelanker konsolidiert. Zur Überprüfung der Wirksamkeit dieser Maßnahme wurden Belastungsversuche vor und nach der Konsolidierung durchgeführt. Dabei war die veränderte Verbundankopplung meßtechnisch zu erfassen.

3 ABRISS DER BAUGESCHICHTE

Die Runneburg in Weißensee/Thüringen ist ein wichtiges Zeugnis der Bauepochen Romanik und Renaissance. Im 12. Jahrhundert entstand die Burg als eine der Hauptburgen der Thüringer Landgrafen zwischen der Wartburg und der Neuenburg bei Freyburg. Der Palas, der Wohnturm und der Torbau sind die ältesten Teile der Runneburg.

Vermutlich aus Gründen mangelnder Tragsicherheit, wurde der Turm zum Teil abgetragen (1750) und mit einem Haubendach versehen. Bis 1982 kann die Ursache der Schäden auf ein Abgleiten des hangseitigen Turmes (Bild 3) oberhalb einer Gleitschicht (ca. 10 m unter GOK) zurückgeführt werden. Während der Umbauphase 1984-1985 erfolgte die Wiederherstellung des romanischen Charakters durch Ausmauerung der Wandnischen des 16. Jahrhunderts, sowie durch die Herstellung der Geschosse auf Kellerniveau. 1990 wurde ein erheblicher Schadensfortschritt [21] beobachtet. Dieser ist auf Spaltbildungen (Ausbauchung) durch das Ettringittreiben im Mauerwerk und auf eine weitere Hangabwärtsbewegung zurückzuführen. Lastkonzentrationen führten weiterhin zum Versagen einzelner Mauerwerksbereiche.



Südansicht

Ostansicht

Bild 2: Ansichten der Burg mit Angabe der Umbauphasen



Bild 4: Freigelegte Gründung des östlichen Strebepfeilers

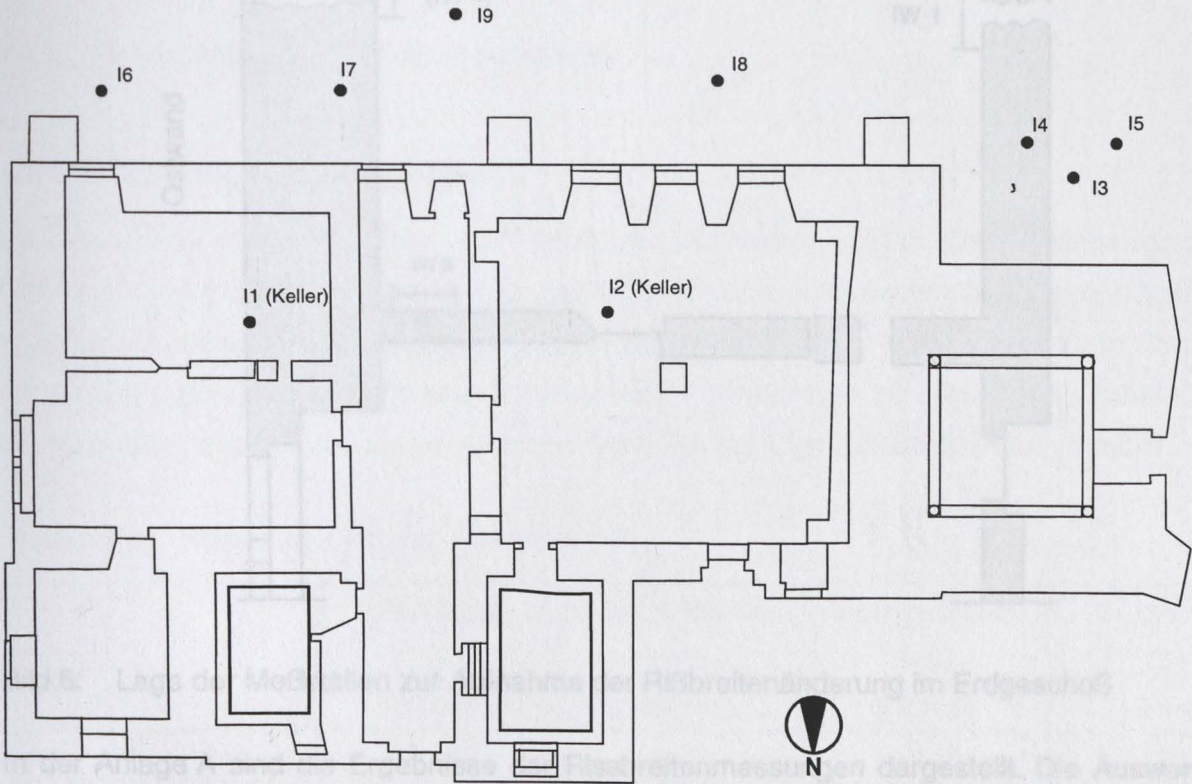


Bild 5: Erdgeschoßgrundriß und Lage der Inklinometermessungen auf der Südseite [29]

Die vertikalen Inklinometermessungen, die an den in Bild 5 markierten Stellen vorgenommen worden sind, zeigen deutliche horizontale Geländeverschiebungen [29]. Auf der Südseite des Turmes (I1-I5) wurden im Zeitraum von Mai 1993 bis Februar 1995 bis zu 2,5 mm starke Verschiebungen

im oberflächennahen Bereich gemessen. Diese werden durch die Sicherungsmaßnahme (Druckpfähle) am Turm beeinflusst [29]. Im Bereich des Palas konnten Verschiebungen im oberen Teil aber auch in tieferliegenden Bereichen nachgewiesen werden. Die maximalen Verformungen (5 - 52 mm) traten in einer Tiefe von 6 bis 12 m unter der Geländeoberkante auf.

4.2 Rißbreitenänderung

An einigen Rissen die die gesamte Wanddicke des Mauerwerks durchtrennten wurden im Zeitraum von August 1994 bis Mai 1997 Rißbreiten gemessen. Bild 6 zeigt die Lage der Meßstellen im Erdgeschoß. Der induktive Wegaufnehmer 3 (Bild 7) wurde an der Innenwand in Verbindung zur Ostwand befestigt. Ferner wurde im Inneren des Gebäudes die Temperatur aufgezeichnet.

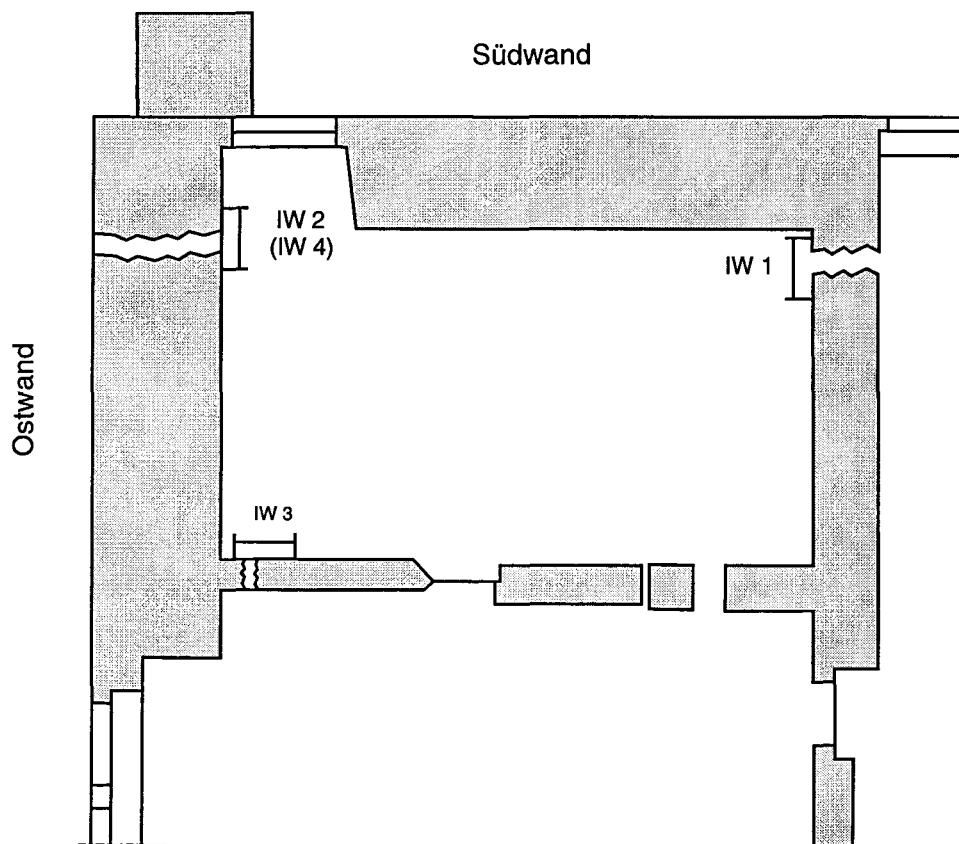


Bild 6: Lage der Meßstellen zur Aufnahme der Rißbreitenänderung im Erdgeschoß

In der Anlage A sind die Ergebnisse der Rissbreitenmessungen dargestellt. Die Auswertung der Meßergebnisse zeigt, daß sich die Breite der Risse an der Südwand kaum verändert. Die deutliche Rißbreitenänderung im Zeitraum von Januar bis Juli 1995 ist wahrscheinlich auf Sanierungsarbeiten im Bereich des Strebepfeilers zurückzuführen. Die Breite des Risses 3 nimmt jedoch kontinuierlich zu. Im Zeitraum von August 1994 bis Mai 1997 um 1,2 mm.

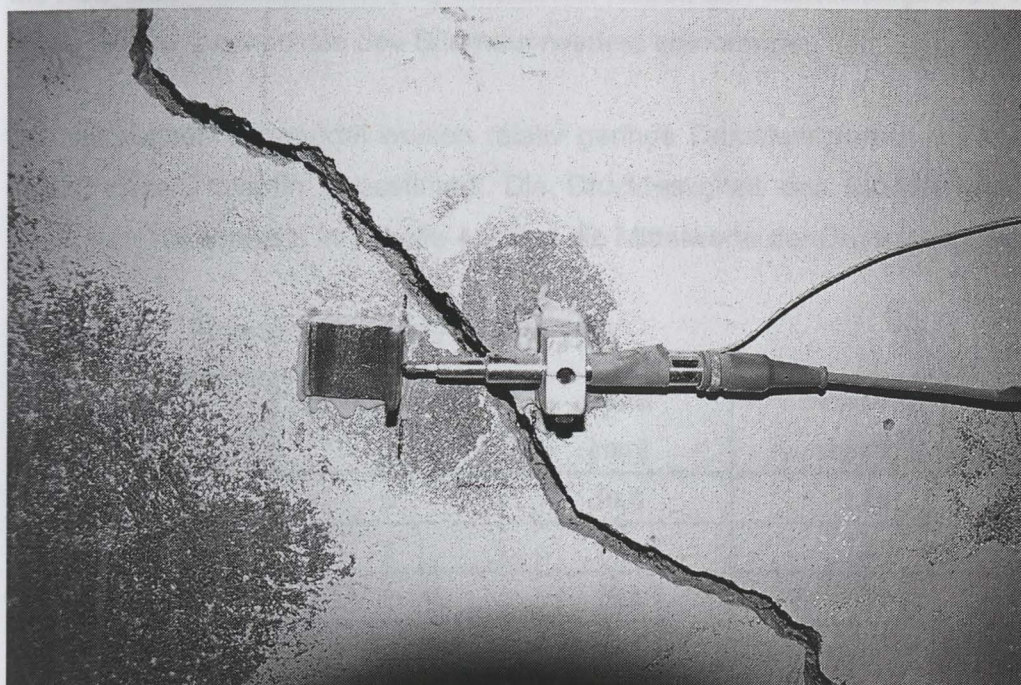


Bild 7: Induktiver Wegaufnehmer am Riß 3

4.3 Baustoffkundliche Untersuchungen

4.3.1 Eigenschaften des Travertins

Das Mauerwerk ist überwiegend aus Travertingestein erstellt worden. Die Gesteinseigenschaften wurden an 100 Probewürfeln mit der Kantenlänge 10 cm aus Abbruchmaterial verschiedener Mauerwerksabschnitte der Burg bestimmt [18]. Aufgrund erheblicher Schwankungen in Struktur und Farbe sind auch bei den Materialkennwerten starke Streuungen zu erwarten. In Tabelle 4.1 sind die minimalen, maximalen und die mittleren Werte einiger Eigenschaften wiedergegeben.

Tabelle 4.1: Eigenschaften des Travertins [18]

	Rohdichte ρ_{ST} [kg/dm ³]	dyn. E-Modul dyn. E_{St} [kN/mm ²]	Druckfestigkeit $\beta_{D,St}$ [N/mm ²]	Zugfestigkeit $\beta_{Z,St}$ [N/mm ²]
Mittelwert	1,62	15,81	10,10	0,25
min. Wert	0,97	2,49	0,85	0,04
max. Wert	2,49	31,63	56,10	0,69

4.3.2 Eigenschaften der Mörtel

Das Mauerwerk wurde mit Gipsmörtel hergestellt. Ausbesserungen der Fugen erfolgten teils mit Gips-, teils mit Kalkzementmörtel. An der Runneburg wurden verschiedene neue Fugenmörtel so-

wie Putz- bzw. Schlämmörtel [18] untersucht. Neben den Mörtelstichproben wurde eine Gipssteinprobe aus der Innenschale des Südmauerwerkes entnommen.

Die historischen Gipsmörtel weisen relativ geringe Druckfestigkeiten auf und sind somit auf den minderfesten Travertin abgestimmt. Die Druckfestigkeit des Mörtels wurde nach dem IBAC-Verfahren [10] ermittelt. In Tabelle 4.2 sind die Mittelwerte der Druckfestigkeit wiedergegeben.

Tabelle 4.2 Eigenschaften der Altmörtel [18]

Probe	Messungen n	Dicke [mm]	Rohdichte [kg/dm³]	Druckfestigkeit [N/mm²]
Verfugmörtel ¹	5	19,0	1,25	2,34
Gipsstein ¹	1	11,5	1,84	10,45
Verfugmörtel ²	2	18,6	1,41	9,49

¹ Südwand EG ² Ostwand KG

Im Rahmen der BMBF-Denkmalpflegeforschung sind zur Sanierung von Natursteinmauerwerk, das unter Verwendung von historischem Gipsmörtel aufgeführt worden ist, gipsresistente Fugen- und Fugendeckmörtel entwickelt worden [18]. Die Gipsresistenz wird durch das Bindemittel HGZ (Hütensand, Anhydrit und PZ45F) sichergestellt. Durch Zugabe von Altpapierfasern wird die Reißfähigkeit des erhärteten Fugen(stopf)mörtels erhöht. Der Fugendeckmörtel wurde mit dem gleichen Bindemittel hergestellt. Altpapierfasern wurden nicht zugegeben. Eine Magerung erfolgte im Verhältnis 1:3 (Bindemittel : Zuschlag) mit Blähschiefer (0-1 mm).

Die Zusammensetzungen des Fugenstopf- und des Fugendeckmörtels sind durch objektspezifische Untersuchungen an das Mauerwerksgestein anzupassen. Dies wurde von der MPA Braunschweig durchgeführt. Tabelle 4.3 enthält einige Mörtелеigenschaften.

Tabelle 4.3 Eigenschaften der Fugen- und Injektionsmörtel nach 28 Tagen [18], [13]

Mörtel	Anteil [*] [%]	Rohdichte [kg/dm³]	Druckfestigkeit [N/mm²]	Zugfestigkeit [N/mm²]
HGZ-Fugenmörtel	85 / 10 / 5	1,82	36,35	1,83
HGZ-Fugendeckmörtel.	90 / 5 / 5	1,48	4,93	0,62
Injektionsmörtel	-	1,10	7,50	-

^{*} Anteil Bindemittel (HGZ) in Gewicht-%

Für die Mauerwerksinjektion und die Vermörtelung von Nadelankern wurde der, von der HAB Weimar, entwickelte Schaummörtel (PZ 45F-HS und Schaumbildner) eingebracht [13].

4.3.3 Mauerwerksgefüge

Die Außenwände bestehen aus zwei- teilweise aus dreischaligem Mauerwerk. Für die Außenschale des aufgehenden Mauerwerks wurden Travertinquader unterschiedlicher Varietät verwendet. Die Innenschale besteht aus Steinen geringer Größe und verschiedener Arten (Gipsgestein, Tonstein und poröser Travertin). Die Vermauerung erfolgte mit Gipsmörtel. Durch Ausbesserungen der Verfugung mit zementgebundenen Mörteln und infolge der Zementinjektion des Mauerwerks und der Gründung in den siebziger Jahren kam es neben einer erheblichen Lasterhöhung und starkem Feuchteeintrag zu Treibmineralbildung und Herauslösung wasserlöslicher Anteile des Gipses. Dies führte entgegen der verfolgten Absicht zu einer erheblichen Verschärfung der Gefügeprobleme. Bild 8 zeigt nach Sondierung und Auswertung von Injektionslaufkarten die Zementinjektionsbereiche [13] auf der Südwand.

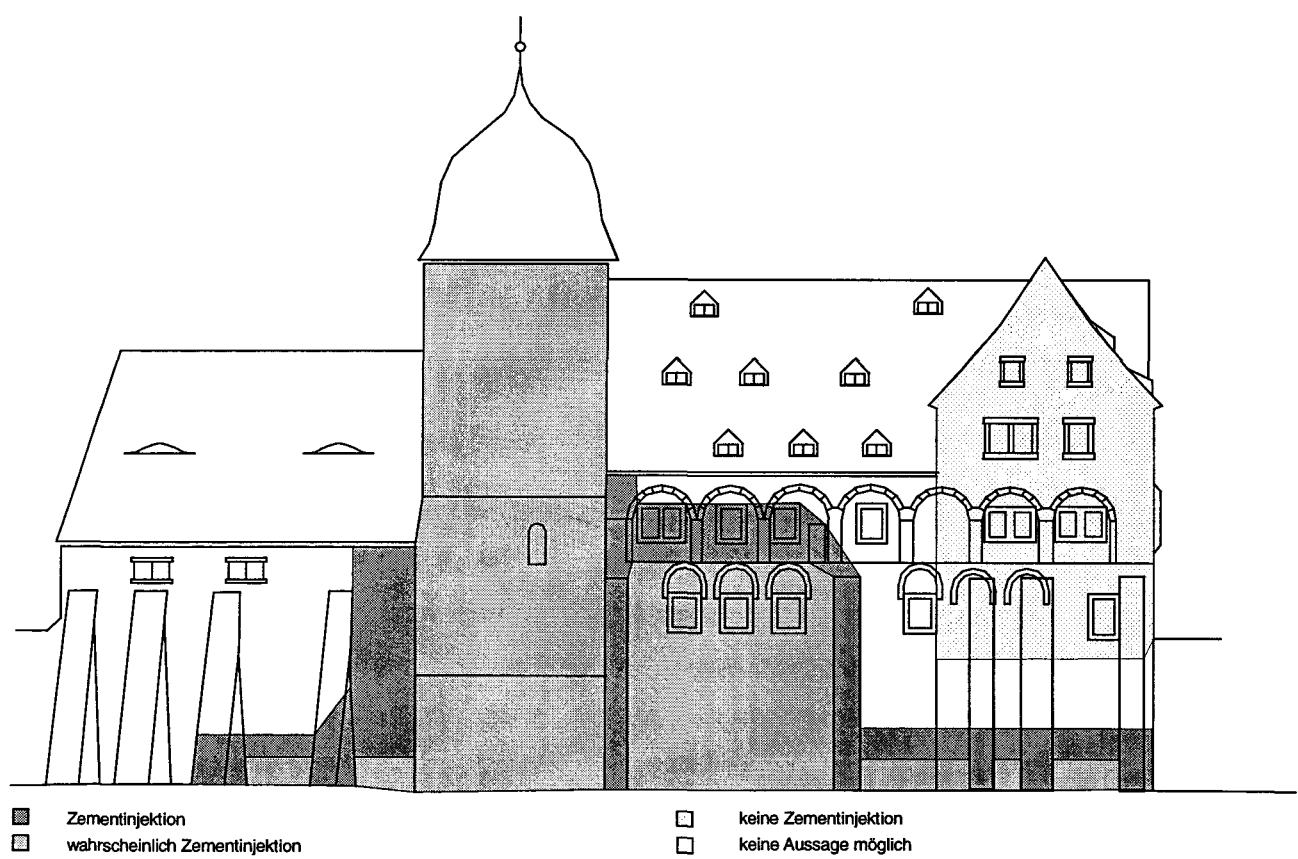


Bild 8: Südsansicht mit den Bereichen der Zementinjektion [13]

Die Mauerwerksdicke der Südwand beträgt im Kellergeschoß ca. 2,30 m und im Erdgeschoß ca. 1,40 m [14]. Die Außenschalen haben eine Dicke von ca. 0,40 m, die Innenschale weist eine Dicke von 1,50 m bzw. 0,60 m auf.

4.3.4 Endoskopieuntersuchungen

Das Gefüge des Mauerwerkes, des Strebepfeilers, eines Teiles des Fundamentes sowie der angrenzenden Wand, wurden durch Bohrlochendoskopie untersucht. Ziel der Untersuchungen war es, den Anschlußbereich zwischen Mauerwerk und Strebepfeiler zu erkunden und Hohlräume sowie das Vorhandensein von Injektionsmörtel festzustellen.

Aufgrund der maximal möglichen Endoskopietiefe von 1,2 m wurden die Bohrungen seitlich im unteren Bereich durch den Strebepfeiler ins Mauerwerk geführt. Oben erfolgten die Untersuchungen von der Vorderseite des Strebepfeilers. Das Mauerwerk neben dem Strebepfeiler wurde ebenfalls endoskopierte. Zur Endoskopieuntersuchung der Gründung des Strebepfeilers wurden an der überstehenden Fundamentkante lotrechte Bohrungen bis zur Baugrundoberkante eingebracht.

Die Ergebnisse der Endoskopieuntersuchungen sind in der Anlage B dargestellt. Das Mauerwerk zeigt eine Außenschale von ca. 35 bis 40 cm. In der Innenschale waren lockerer Mörtel und Hohlräume zu erkennen. Im Strebepfeiler sind kaum Hohlräume zu erkennen und der Mörtel ist kompakt. Zementinjektion wurde im Gegensatz zu [14] nicht vorgefunden. Die Röntgenfeinstrukturanalysen an einigen Bohrmehlproben zeigten Gips-, Calcit- und Quarzanteile, jedoch keine Zementanteile oder Ettringit bzw. Thaumasilbildungen. Das endoskopierte Gründungsmauerwerk zeigt kaum Hohlräume bis in eine Tiefe von 1,0 bzw. 0,7 m.

4.4 Sondierungsergebnisse

Das Schadensbild der Runneburg ist geprägt durch Setzungen, Bewegungen, Verwitterungen und Treibmineralbildung. Durch Inklinometermessungen konnte die fortwährende Hangabwärtsbewegung aufgezeigt werden. Die Änderung der Rißbreite an durchgehenden Mauerwerksrissen im Bereich der Südwand zeigen geringe Veränderungen. Die Rißbreite im Bereich der Ostwand nimmt jedoch ständig zu. Zu beachten ist, daß im aufgezeichneten Zeitraum die Sanierungsarbeiten auf der Südseite im Gründungsbereich und am Strebepfeiler durchgeführt wurden. Der poröse Naturstein weist in seinen Eigenschaften erhebliche Streuungen auf. Die große Porosität des Travertins ermöglicht eine hohe Wasseraufnahme. Der Fugenmörtel ist in vielen Bereichen ausgewittert.

Die statisch-konstruktive Sicherung der Burg gegen weitere Hangabwärtsbewegungen ist dringend erforderlich. Die durchgehenden Mauerwerksrisse sollten geschlossen werden, um die Aussteifung des Bauwerkes wieder zu gewährleisten.

5 GEGENWÄRTIGE SANIERUNGSMABNAHMEN

5.1 Statisch-konstruktive Sicherungsmaßnahmen im Überblick

Die denkmalpflegerische Zielstellung [4] der Runneburg ist mit einigen Veränderungen des Bauwerks verbunden. Hier wird ein Überblick über statisch-konstruktive Veränderungen im Bereich des Palas gegeben. Die Sicherung der Burganlage erfolgt nach Vorschlägen des Tragwerkplaners [2]. Ziele der statisch-konstruktiven Sicherung sind:

- Verhinderung der weiteren Hangabgleitung des Gebäudes durch einen Stahlbetonring im Bereich der Fundamente sowie durch Zug- und Druckpfähle (Bohrpfähle).
- Abfangen und Aussteifung des Gebäudes durch Stahlkonstruktionen und Stahlbetonscheiben.
- Aufnahme von Horizontalkräften aus dem Dach durch Zuganker.
- Aktivierung der Stützwirkung der Strebepfeiler u.a.m.

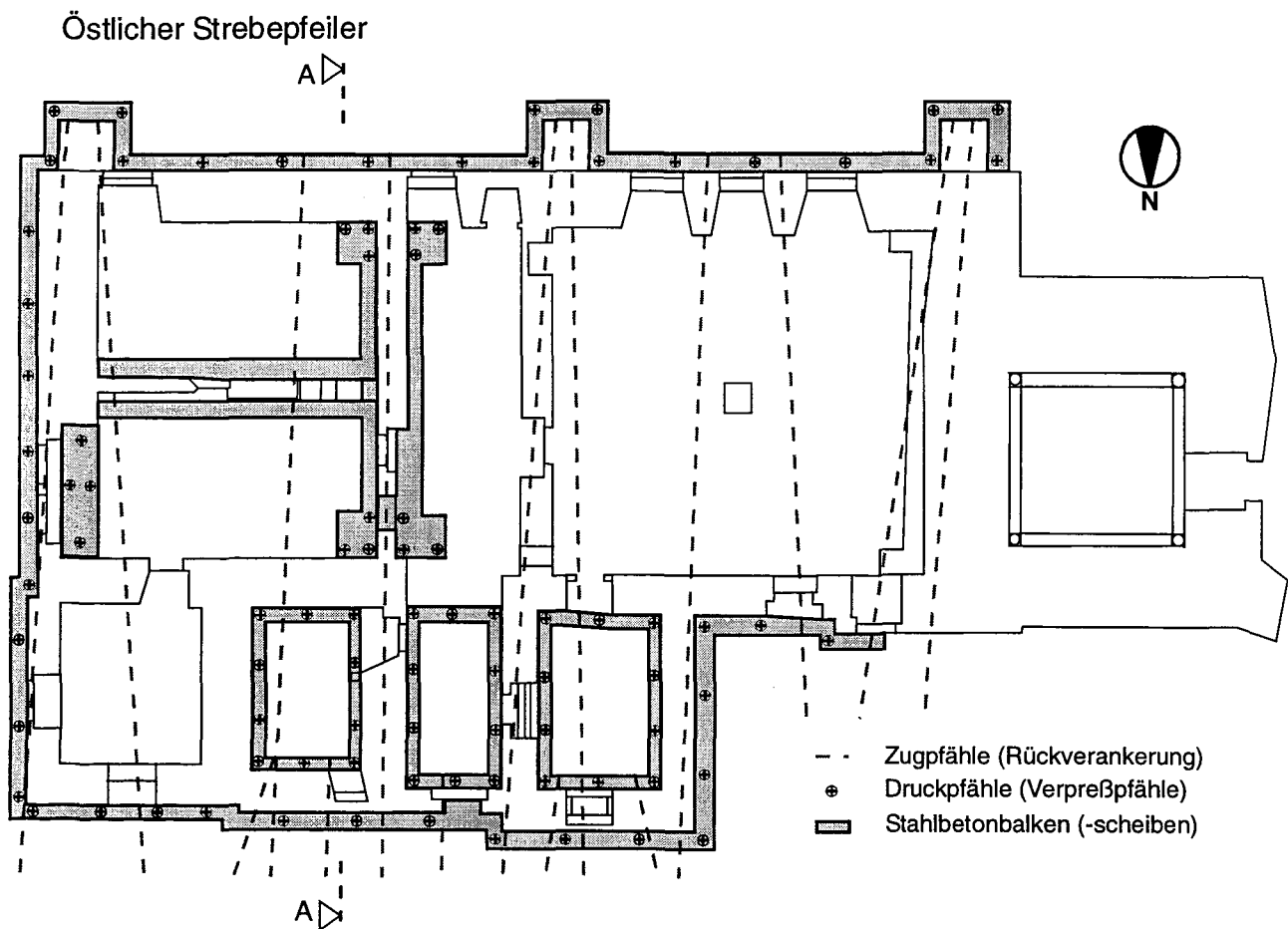


Bild 9: Sicherungskonzept der Burganlage [2], Darstellung im Erdgeschoßgrundriß

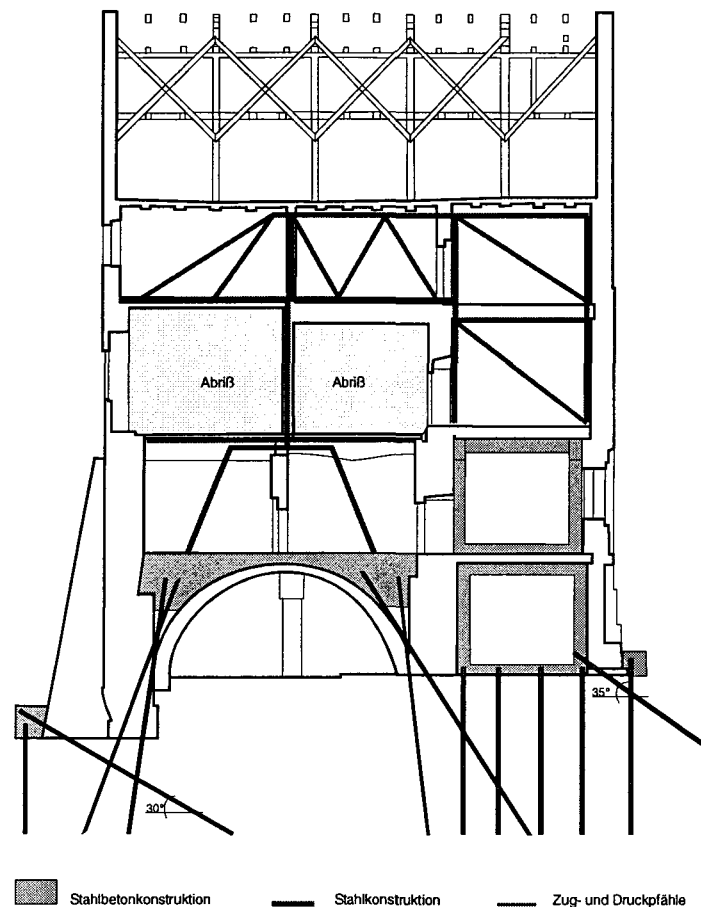


Bild 10: Sicherungskonzept der Burganlage [2], Darstellung im Schnitt A-A

5.2 Sicherungsmaßnahmen und Untersuchungen am östlichen Strebepfeiler

5.2.1 Überblick über die Arbeiten der MPA Braunschweig

Im Rahmen der Denkmalpflegeforschung des BMBF hat sich die MPA Braunschweig an den Sicherungsmaßnahmen am östlichen Strebepfeiler der Südwand beteiligt. Diese Maßnahmen und Untersuchungen umfassen:

- Nachgründung des Strebepfeilers durch Pfähle und Verpreßanker
- Fugeninstandsetzung
- Vernadelung und Vorspannung
- Hohlrauminjektion und
- Durchführung von Belastungsversuchen zur Klärung des Kraftabstrags bzw. der Verbundankopplung.

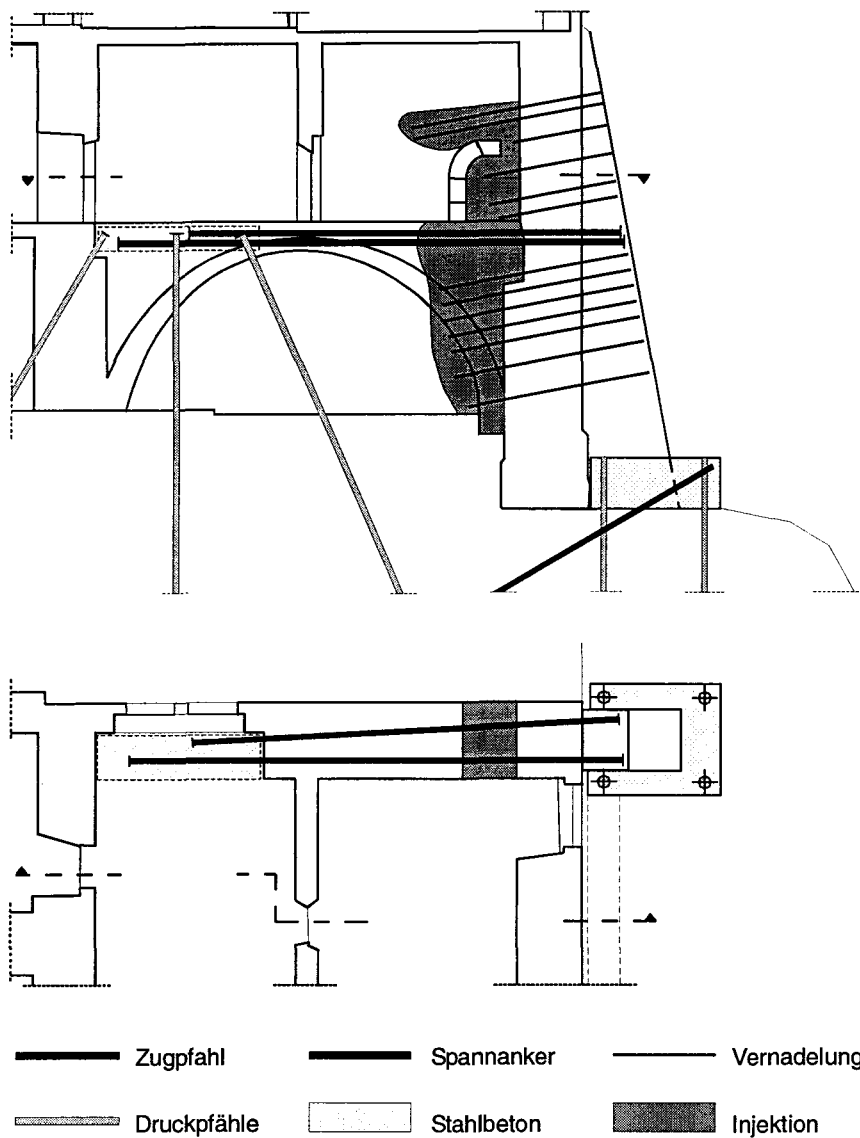


Bild 11: Lage der Vernadelung, Injektion und der Vorspannanker

5.2.2 Fugeninstandsetzung

Am östlichen Strebepfeiler wurde eine Musterverfugung durch die MPA Braunschweig [18] vorgenommen. Die Eigenschaften und Zusammensetzung des Mörtels sind bereits im Abschnitt 4.3.2 behandelt worden. Die Pfeileroberfläche wurde zunächst mit dem JOS-Verfahren trocken gereinigt. Das Ausräumen des alten Fugenmörtels erfolgte händisch. Hierdurch konnte der Verlust von Originalsubstanz durch die Ausräumarbeiten gering gehalten werden. Der Fugenmörtel wurde von Hand eingebracht, wobei die äußeren 2 bis 3 cm freigehalten wurden. Nach der ersten Hydratationsphase (1 Tag) wurde dann der Fugendeckmörtel eingebracht. Die Verfugungsfläche wurde eine Woche feucht nachbehandelt.

5.2.3 Vernadelung, Injektion und Vorspannung des Strebepfeilers

Die Anbindung des Strebepfeilers an das Außenmauerwerk wurde über Vernadelung, Injektion und Vorspannung wieder hergestellt. In Kernbohrungen (\varnothing 80 mm) wurden Gewindestangen \varnothing 14 mm aus nichtrostendem Stahl eingeführt. Die Gewindestangen waren im Bereich des Strebepfeilers und des Mauerwerkes in Kunststoffhüllrohren verbundlos geführt. Die Verankerung der Vorspannkraft gegen den Strebepfeiler erfolgte über eine Stahlplatte mit Mutter. Die Vorspannkraft je Gewindestange betrug 15 kN. Die Endverankerung wurde verdeckt ausgeführt.

Die freie Dehnung im Bereich der Kunststoffhülle sollte für einen ständigen Anpreßdruck des Strebepfeilers an das Mauerwerk sorgen. An drei Nadeln wurden die Ankerkräfte mit Kraftmeßdosen (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) und die Außentemperatur von Dezember 1996 bis Mai 1997 gemessen. Bereits in den ersten drei Monaten konnte ein Verlust der Ankerkräfte um 65% festgestellt werden. Im Mai 1997 weisen die Nadelankern keine Vorspannkraft mehr auf. Der Verlust an Vorspannkraft ist auf ein starkes Kriechen zurückzuführen. Die Lage der Kraftmeßdosen, der zeitliche Verlauf der Ankerkräfte sowie der Temperaturverlauf sind in Anlage D dargestellt.

Zwei Vorspannanker (GEWI \varnothing 28 mm) in Höhe des Erdgeschoßfußbodens (Bild 11) verbinden den Strebepfeiler mit einem Stahlbetonbalken. Die Lasten aus der Vorspannung werden an den Stahlbetonbalken weitergegeben. Eine Anbindekonstruktion leitet die Lasten über Druckpfähle ins Erdreich. Die Endverankerung wurde wie bei den Nadelankern durchgeführt.

5.2.4 Lastabtrag in den Baugrund

Vor dem Mauerwerk und dem Strebepfeiler wurden Druckpfähle (Abschn. 5.1) in den Boden eingebracht. Über eine Stahlbetonkonstruktion erfolgt der Lastabtrag in die Druckpfähle bzw. in das aufgehende Mauerwerk und den Strebepfeiler. Die Schubkraft zwischen Mauerwerk und Stahlbeton übernehmen Schubdollen. In das Mauerwerk wurden Kernbohrungen (\varnothing 15 cm) eingelassen, I-Profile eingelegt und mit dem Stahlbetonbalken betoniert. Die aus der exzentrischen Lasteinleitung entstehenden Zugkräfte, im unteren Bereich des Stahlbetonbalkens, werden beim Mauerwerk von Erdnägeln übernommen. Am Strebepfeiler wurden hierzu Spannanker (GEWI \varnothing 14 mm), die in einem Hüllrohr liegen, verwendet und vorgespannt. Vorher wurde der Strebepfeiler im Bereich der Stahlbetonkonstruktion mit Schauminjektionsmörtel vergütet, um die Druckkräfte aus der Vorspannung übernehmen zu können.

Bild 12 zeigt die Konstruktion zur Abtragung der Last am östlichen Strebepfeiler in den Baugrund. Im Anschlußbereich Mauerwerk/Strebepfeiler der Südwand wurde ein Bereich von ca. einem Meter

entlang des Mauerwerkes nicht betoniert, um bei den Belastungsversuchen die Last ausschließlich in den Strebepfeiler zu leiten.

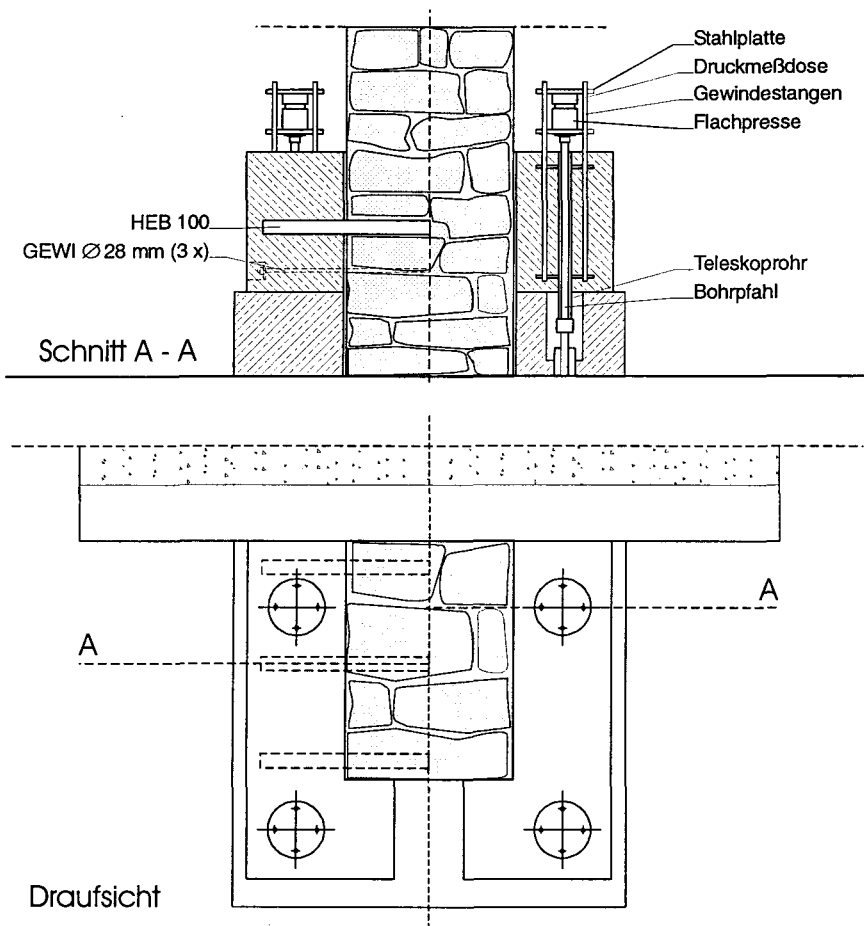


Bild 12: Stahlbetonkonstruktion zum Lastabtrag

6 BELASTUNGSVERSUCHE

6.1 Ziel und Vorgehen

Das Sicherungskonzept sieht die Nachgründung des Strebepfeilers durch vier lotrechte Druckbohrpfähle und einen schrägen Zugpfahl (Verpreßanker) vor. Die Zugkräfte infolge Gleitens werden durch den Zugpfahl aufgenommen. Bild 13 zeigt den Kraftabtrag vor und nach der Nachgründung. Ziel der Untersuchung war, die Wirksamkeit der Verbundankopplung des Strebepfeilers an die Palaswand vor und nach der Konsolidierung durch Verfugung, Vernadelung und Injektion zu überprüfen.

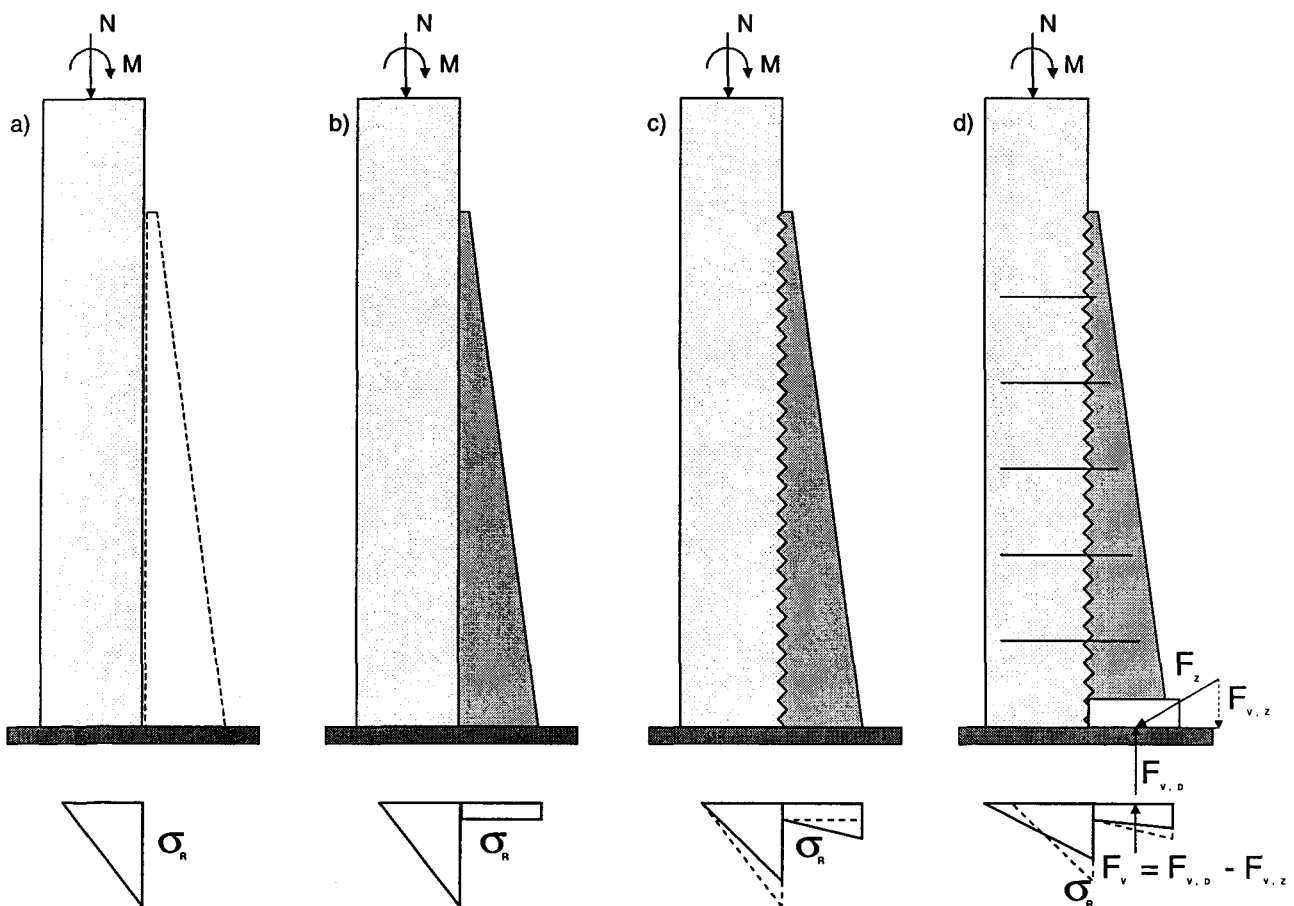


Bild 13: Resultierende Spannung am Wand- und Strebepfeilerfuß

- a) Wand ohne Strebepfeiler
- b) Wand mit Strebepfeiler (ohne Verbund)
- c) Wand mit Strebepfeiler (mit Verbund)
- d) Wand mit Strebepfeiler (mit Verbund, Lastabtrag über Druck- und Zugpfähle)

6.2 Versuchs- und Meßeinrichtung

6.2.1 Versuchsaufbau

Über Flachpressen, die mit den vier Druckpfählen gekoppelt worden sind, wurden die Kräfte sowohl in den Baugrund als auch in den Strebepfeiler eingebracht. Um die Pfahlkräfte ausschließlich in den Strebepfeiler zu leiten, wurde unterhalb des Stahlbetonringbalkens und im Anschlußbereich des Mauerwerkes eine Trennschicht eingebracht. Bild 12 zeigt die Belastungseinrichtung. Jede Presse konnte einzeln gesteuert werden. Nach jeder Laststufe erfolgte die elektronische Aufnahme der Längen- und Kraftänderung. Die Kraft wurde so aufgebracht, daß sie im Schwerpunkt des Strebepfeilers angreift. Bild 14 zeigt eine Flachpresse zum Einbringen einer vertikalen Druckkraft.

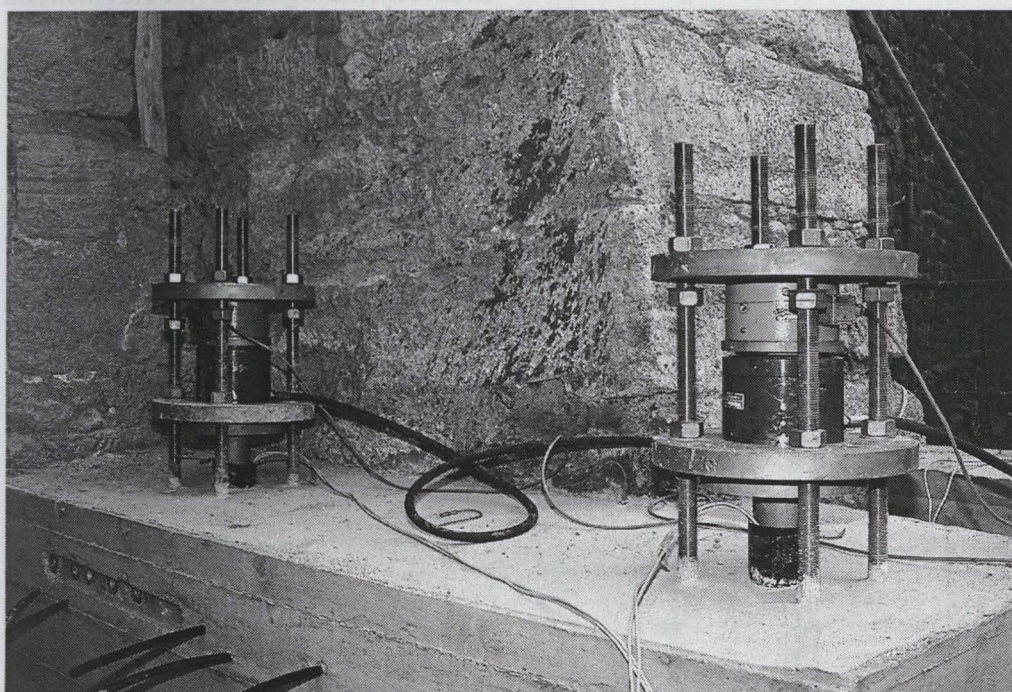


Bild 14: Detail der Belastungseinrichtung am Druckpfahl

6.2.2 Meßtechnik

Die Aufnahme der Verformungen erfolgte über INVAR-Stäbe mit induktiven Wegaufnehmern. Durch die geringe Wärmedehnung von INVAR sollte der Einfluß der Temperaturschwankungen während des Versuches minimiert werden. Weiterhin wurde der Strebepfeiler durch das Gerüst weitestgehend von der direkten Sonneneinstrahlung geschützt. Beim Versuch vor der Sanierung wurde eine max. Temperaturdifferenz von $\Delta T_{v.d.S} = 5^{\circ}\text{C}$ aufgezeichnet; beim Versuch nach der Sanierung betrug die Differenz $\Delta T_{n.d.S} = 7^{\circ}\text{C}$. Auszuschließen ist ein Temperatureinfluß jedoch nicht, da andere Bauteile der Meßtechnik aus Metall bestehen und nicht durch INVAR ersetzt werden

Bild 15: Lage der Meßstellen an Strebepfeiler und Wand

konnten. Allein die Temperaturdehnungen des Bauwerkes bzw. der Bauteile dürften einen Einfluß auf die gemessenen Längenänderungen ausüben. Dieser wurde beim Versuch nicht erfaßt.

Aufgezeichnet wurden Längenänderungen auf der Außenseite, im Bereich der Wand und des Strebepfeilers sowie auf der Innenseite des Mauerwerkes. Erfaßt wurden ebenfalls die relativen Verschiebungen zwischen Wand und Strebepfeiler. In sieben Meßebenen auf der Wand und in vier Ebenen auf dem Strebepfeiler wurden Verformungen aufgezeichnet, die bei der Auswertung in Dehnungen umgerechnet wurden. Mit Kraftmeßdosen erfolgte die Aufnahme der eingebrachten Lasten. Die Änderung der Rißbreite an der Südostecke wurde ebenfalls über induktive Wegaufnehmer aufgenommen. Vor dem Strebepfeiler erfolgten vertikale Inklinometermessungen, um Verformungen des Baugrundes aufzuzeichnen. Die Inklinometermessungen konnten jedoch nur beim zweiten Versuch durchgeführt werden.

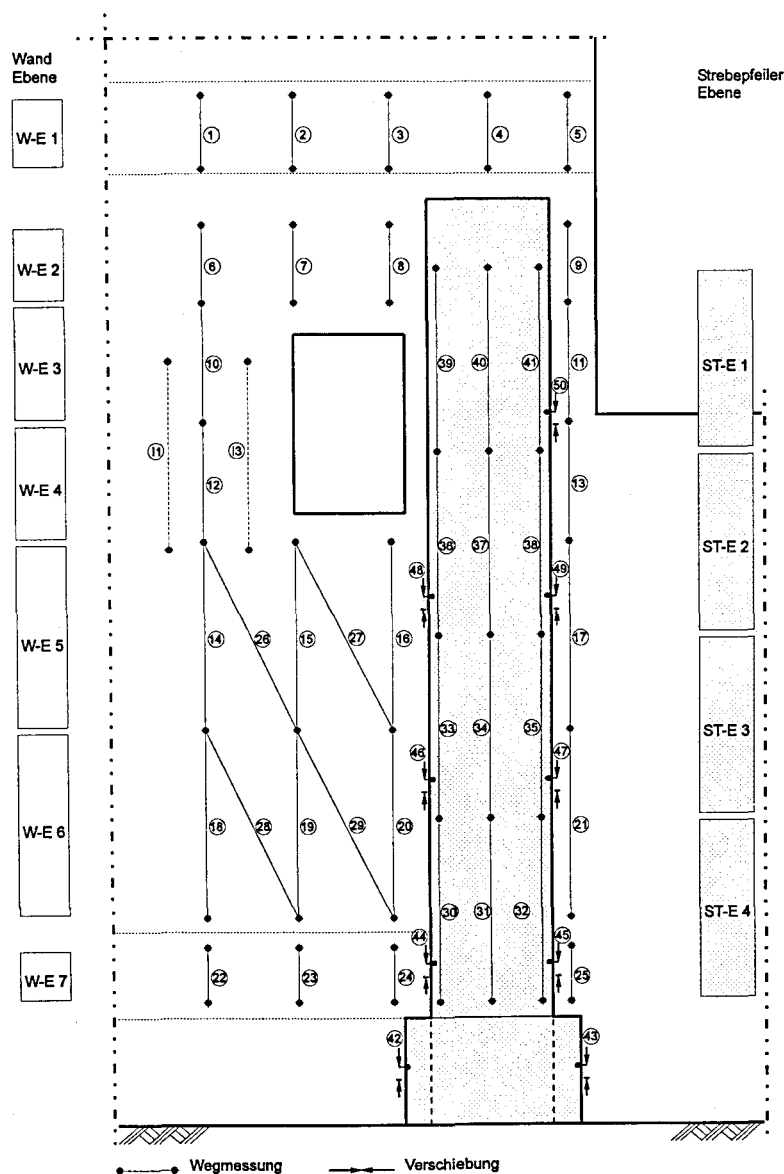


Bild 15: Lage der Meßstellen an Strebepfeiler und Wand

6.3 Erster Belastungsversuch vor der Konsolidierung des Strebepfeilers

Der erste Belastungsversuch ist am 10.10.1995 durchgeführt worden. Die Lasten wurden in 36 Laststufen bis zu einer Gesamtlast von 1800 kN gesteigert. Der Versuch wurde beendet, als sich ein nichtlineares Verhalten der Verschiebung zwischen Mauerwerk und Strebepfeiler zeigte. Die Entlastung erfolgte in fünf Laststufen.

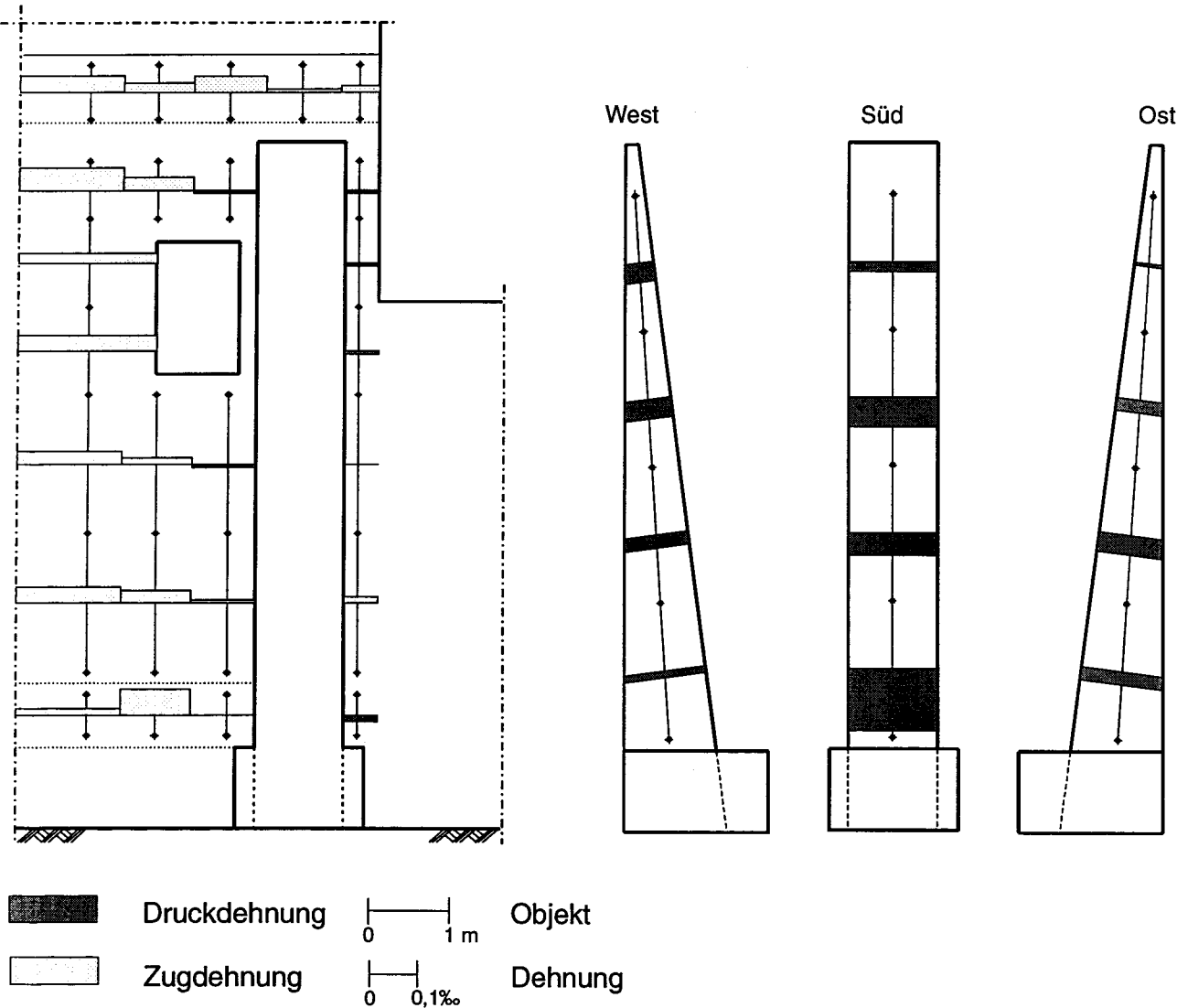


Bild 16: Wand- und Strebepfeilerdehnungen, bei maximaler Belastung ($F_v=1743\text{ kN}$) vor der Sanierung

Strebepfeilerverformungen

Der Strebepfeiler zeigt auf gesamter Höhe geringe Druckdehnungen. In den Meßebenen ST-E-1 bis ST-E-3 traten Dehnungen bis $-0,06\text{ ‰}$ auf. Die größeren Verformungen sind auf der linken Seite des Strebepfeilers zu erkennen. Im unteren Bereich zeigten sich mit Ausnahme des induktiven Wegaufnehmers w32 ebenfalls geringe Verformungen.

Wandverformungen

Auf der Wandseite links vom Strebepfeiler zeigten sich auf gesamter Höhe vertikale Zugdehnungen bis zu 0,08 ‰. Rechts vom Strebepfeiler sind dagegen geringe Druckdehnungen bis -0,015 ‰ aufgetreten. Die diagonalen Meßstrecken zeigten geringe Zugdehnungen bis 0,03 ‰. Bei der Kraft von 1800 kN zeigte dagegen die Meßstelle w27 geringe Druckdehnungen. Auf der Innenseite des Mauerwerks wurden geringe Zugdehnungen bis 0,006 ‰ aufgenommen.

Relativverschiebung zwischen Wand und Strebepfeiler

Die Verschiebungen zwischen Wand und Strebepfeiler nehmen von der Strebepfeilerebene 1 bis 4, mit der Ausnahme von Wegaufnehmer 48, stetig zu. Die max. Verschiebung betrug bei 1800 kN $\Delta l = -0,20$ mm, wobei eine Erhöhung der relativen Verschiebung ein negatives Vorzeichen ergibt. Eine Verschiebung zwischen der Stahlbetonkonstruktion und dem Mauerwerk konnte auf der Ostseite kaum gemessen werden. Gegenüber zeigte sich eine Verschiebung von $\Delta l = -0,5$ mm. Bild 17 zeigt die Verschiebung zwischen Strebepfeiler/Mauerwerk und Stahlbetonbalken.

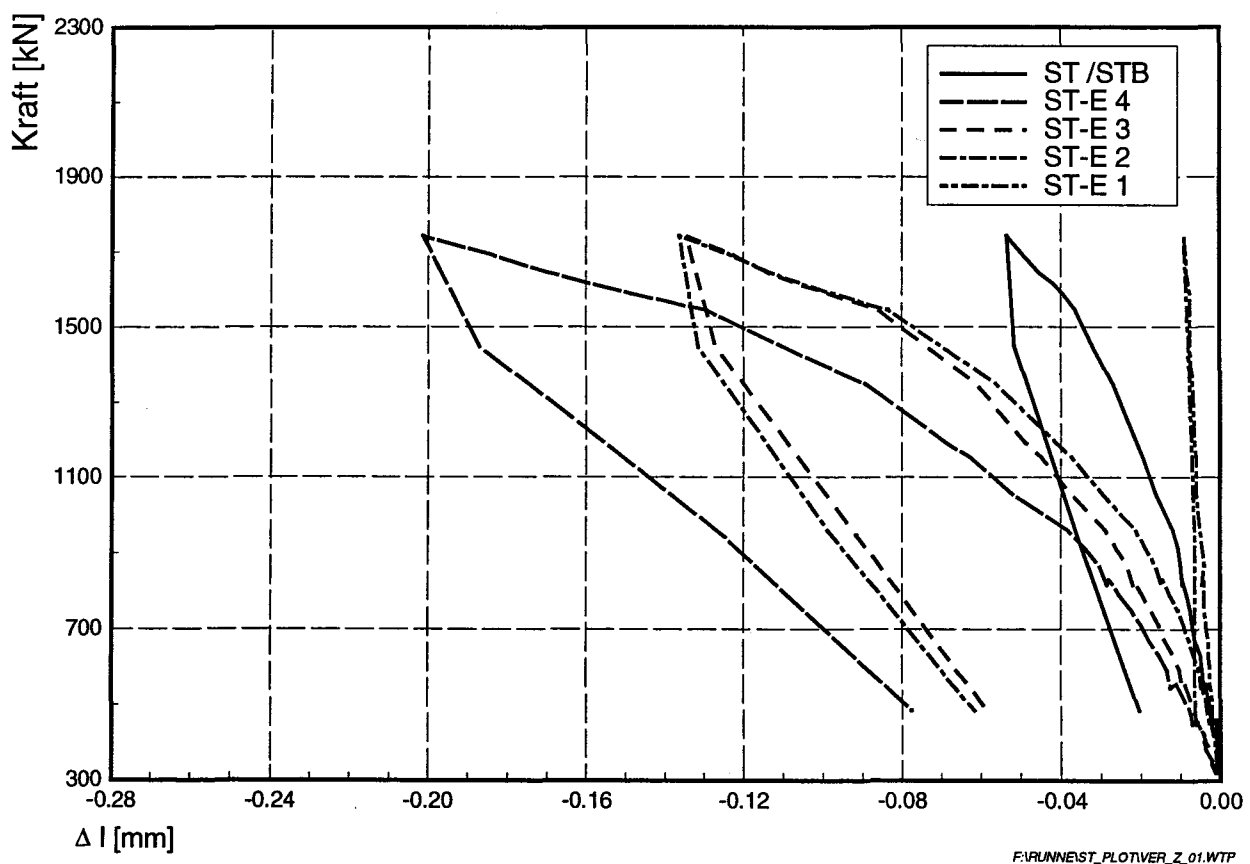


Bild 17: Verschiebung zwischen Strebepfeiler und Stahlbetonbalken bzw. Wand, Belastung vor der Sanierung

Rißbreitenänderung

Die Rißbreite, zeigt mit zunehmender Belastung, eine Verringerung um ca. 1,1 mm. Die Änderung ist an der Meßstelle im Obergeschoß geringfügig höher als im Erdgeschoß. Dies deutet auf eine geringe Kippbewegung der Wand und des Strebepfeilers hin.

Strebepfeilerkraft

Mit den berechneten Dehnungen in den Strebepfeilerebenen und einem angenommenen E-Modul von 5000 MN/m^2 nach [24] wird die Kraft bestimmt. Bild 18 zeigt den Kraftverlauf im Strebepfeiler. Der untere Wert entspricht der Summe der Flachpressenkräfte. Im Bereich des Stahlbetonringbalkens erfolgt ein erheblicher Kraftabfall. Oberhalb des Stahlbetonbalkens ist nur eine geringe Last vorhanden.

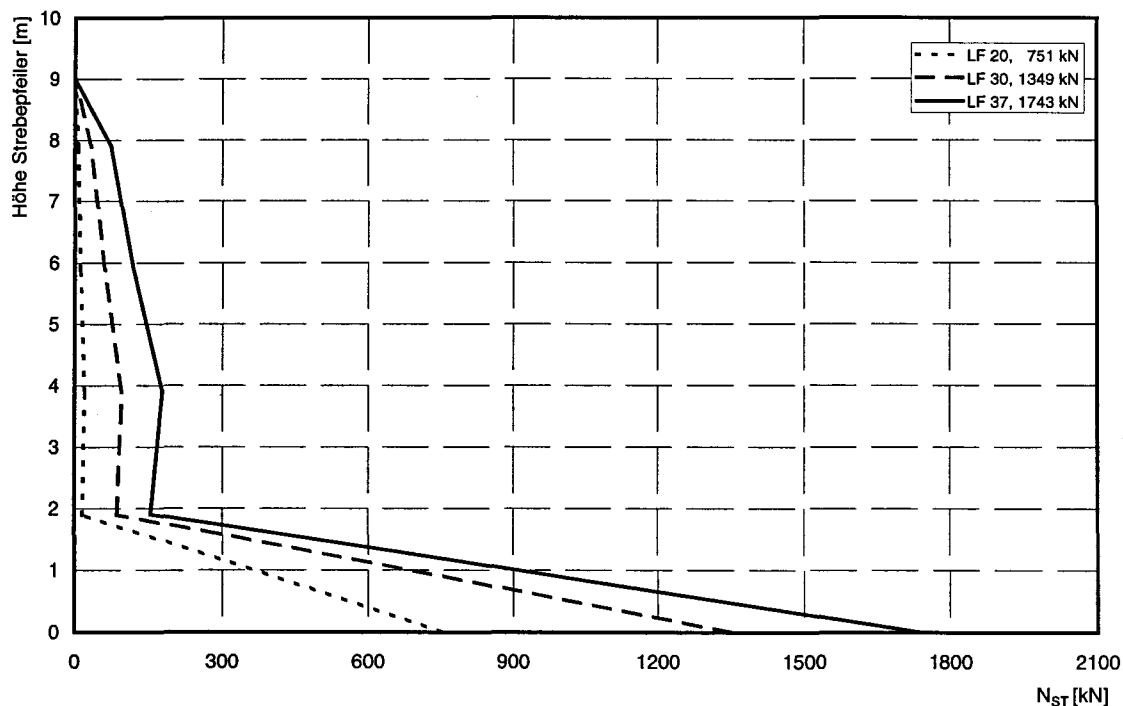


Bild 18: Kraftverlauf im Strebepfeiler, Belastung vor der Sanierung

Nach der Konsolidierung des Strebepfeilers (Fugeninstandsetzung, Injektion, Vernadelung und Vorspannung) wurde der zweite Belastungsversuch am 14.05.1997 durchgeführt. Die Kraft wurde im Strebepfeiler auf 1980 kN in 29 Laststufen gesteigert.

Strebepfeilerverformungen

Auf dem Strebepfeiler zeigen sich in der oberen Meßebe (ST-E 1) Verformungen bis zu -0,13 ‰. Die rechte Seite des Strebepfeilers verformte sich in dieser Ebene jedoch kaum. Die Dehnungen in der zweiten und der dritten Strebepfeilerebene sind denen in Strebepfeilerebene 1

ähnlich. Im unteren Bereich, außer auf der rechten Seite, sind bei Vollast Dehnungen bis zu $-0,23\text{‰}$ aufgetreten. An der Meßstelle 32 wurde eine Verformung von $0,07\text{‰}$ aufgenommen.

Wandverformungen

Rechts neben dem Strebepfeiler zeigen sich auf der gesamten Höhe Dehnungen bis zu $-0,06\text{‰}$ bei Vollast. Links neben dem Strebepfeiler traten Stauchungen, außer im unteren Bereich, bis zu $-0,09\text{‰}$ auf. Auf der untersten Meßebene (W-E 7) wurden ausschließlich Zugdehnungen bis zu $0,086\text{‰}$ bei Vollast aufgezeichnet. Die diagonalen Meßstrecken zeigen Druckdehnungen bis zu $-0,072\text{‰}$. Die Druckdehnungen auf der Innenseite der Wand zeigen einen Sprung bei der Belastung im Strebepfeiler von 941 kN .

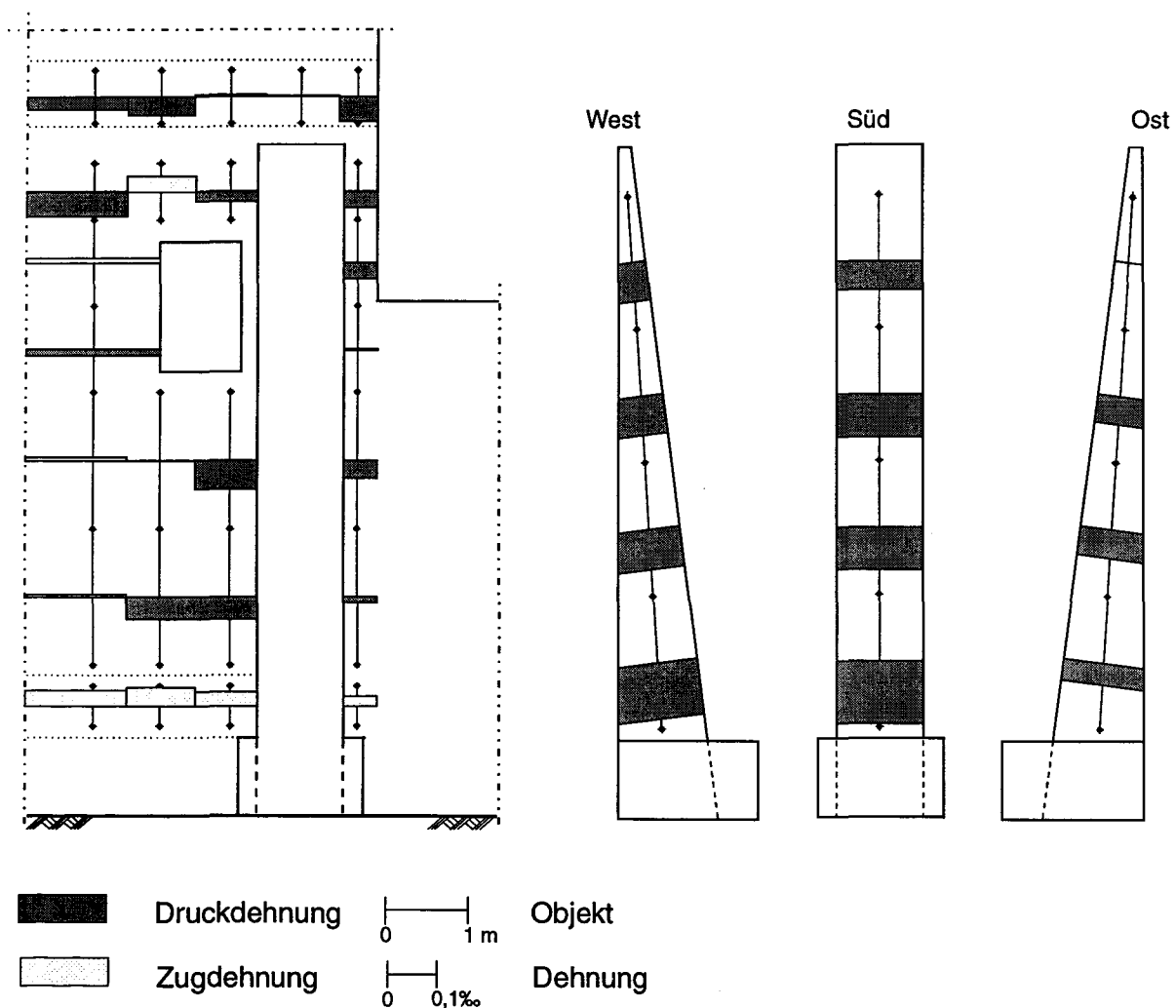


Bild 19: Wand- und Strebepfeilerdehnungen, bei maximaler Belastung ($F_v=1916\text{ kN}$) nach der Sanierung

Relativverschiebung zwischen Wand und Strebepfeiler

In Bild 20 sind die gemittelten Relativverschiebungen zwischen der Wand und dem Strebepfeiler sowie zwischen dem Strebepfeiler und dem Stahlbetonbalken abhängig von der Kraft dargestellt. Die Relativverschiebungen zwischen Strebepfeiler und Wand nehmen mit steigender Kraft stetig

zu. Sie unterscheiden sich in den einzelnen Ebenen nur wenig voneinander. Nach der Entlastung ist eine bleibende Verschiebung festzustellen. Die Relativverschiebung zwischen Strebebfeiler und Stahlbetonbalken sind unterschiedlich. Meßstelle w42 zeigt eine rel. Verschiebung von $\Delta l = -0,21$ mm; Meßstelle w 43 dagegen eine Verschiebung von 0,04 mm. Der Stahlbetonbalken hat sich im Bereich der Meßstelle w 42 anscheinend vom Mauerwerk, im Gegensatz zur gegenüberliegenden Seite, gelöst. Durch die „einseitige“ Haftung des Stahlbetons an das Mauerwerk entsteht eine Drehbewegung und führte zur exzentrischen Belastung des Strebebfeilers.

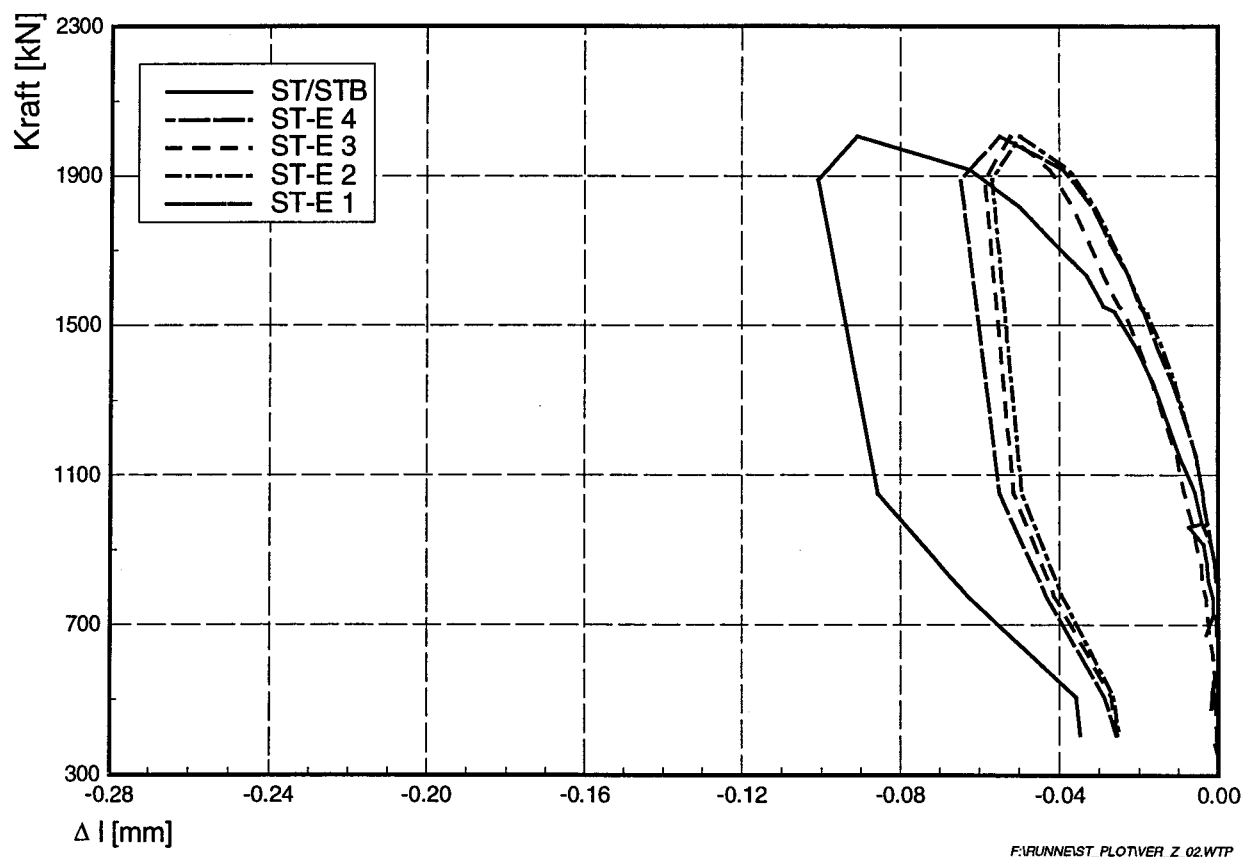


Bild 20: Verschiebung zwischen Strebebfeiler und Stahlbetonbalken bzw. Wand, Belastung nach der Sanierung

Rißbreitenänderung

Die Rißbreiten zwischen der Ost- und Südwand verändern sich während des Versuches kaum. Die maximale Rißbreitenänderung betrug bei Vollast 0,35 mm. Bei der Sanierung des Strebebfeilers wurden zur Vernadelung und Injektion die Risse in diesem Bereich mit Mörtel ausgefüllt, um ein Herauslaufen des Injektionsmaterials zu verhindern. Somit war eine geringere Rißbreitenveränderung auch zu erwarten.

Vertikale Inklinometermessung

In südwestlicher Richtung vom Strebepfeiler (Böschungshang) wurden während der Belastung in einer Bohrung Inklinometermessungen Bild 5 durchgeführt. Es zeigen sich eindeutige horizontale Bewegungen des Baugrundes während der Belastung in Süd-West-Richtung. Die maximale Auslenkung betrug 3 mm. Nach Entlastung wurde nahezu die Ausgangsstellung erreicht.

Strebepfeilerkraft

Die Kraftermittlung im Strebepfeiler erfolgte wie in Abschn. 6.3 dargestellt. Bild 21 zeigt den Kraftverlauf im Strebepfeiler bei Belastung nach der Sanierung. Der untere Wert entspricht der Summe der Flachpressenkräfte. Im Bereich des Stahlbetonringbalkens erfolgt ein erheblicher Kraftabfall, der jedoch nicht so stark ausgebildet ist, wie bei der Belastung vor der Sanierung. Oberhalb des Stahlbetonbalkens ist nur ein linearer Lastabfall vorhanden.

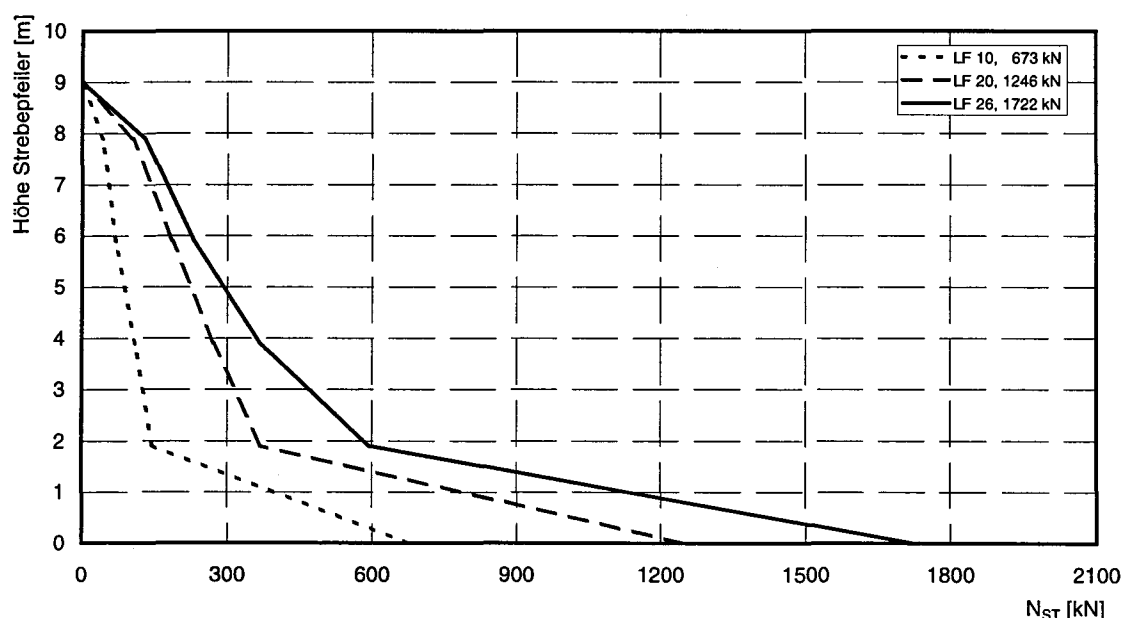


Bild 21: Kraftverlauf im Strebepfeiler, Belastung nach der Sanierung

6.4 Vergleich und Bewertung der Ergebnisse

Die Dehnungen vor der Sanierung sind aufgrund der geringen Verformungen schwierig zu interpretieren. Die Zug- und Druckdehnungen sind gering und liegen im Bereich der Meßtoleranz. Die geringen Verschiebungen zwischen Stahlbetonkonstruktion und Mauerwerk deuten darauf hin, daß eine Trennung nicht im ausreichenden Maße erreicht wurde. Zwischen Wand und Strebepfeiler traten Verschiebungen (Bild 17) bis zu 0,20 mm auf.

Deutliche Verformungen konnten beim Versuch nach der Sanierung aufgezeichnet werden. Die Verschiebungen (Bild 20) zwischen Wand und Strebepfeiler sind - bei gleicher Kraft - wesentlich

geringer. Auf der Wand zeigen sich im oberen Bereich (W-E 1 bis W-E 6) deutliche Druckdehnungen.

In Bild 22 wurde der Verlauf der Strebepfeilerkraft für $N_{ST} = 1600$ kN sowohl für die Belastung vor als auch nach der Sanierung ausgewertet. Aus der Differenz ergibt sich die Schubkraft, die über den Verbund in die Wand eingeleitet wird. Mit dieser Schubkraft wird die Schubspannung τ_{ST} bestimmt. Aus den Einzelwerten der Schubspannung wurde über die Strebepfeilerhöhe der Mittelwert abgebildet und in Bild 22 dargestellt.

Die Versuchsergebnisse zeigen, daß durch die Konsolidierung der Verbund zwischen Strebepfeiler und Wand wesentlich verbessert werden konnte. Durch den Einbau des Stahlbetonringbalkens und der Bohrpfähle ist der Kraftabtrag in den Baugrund gewährleistet.

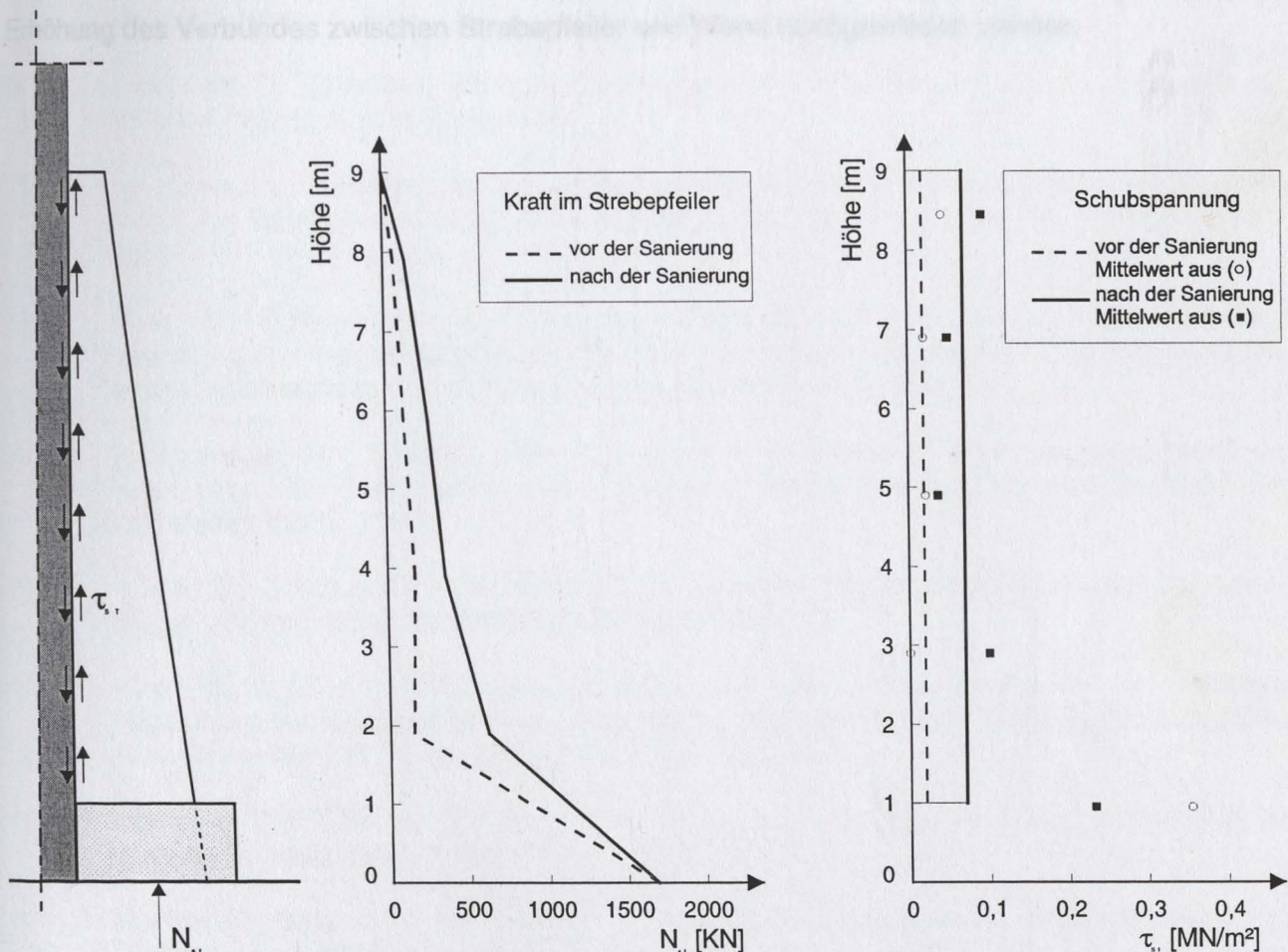


Bild 22: Kraft- und Schubspannungsverteilung im Strebepfeiler vor und nach der Sanierung

7 ZUSAMMENFASSUNG

Die Runneburg in Weißensee weist durch Hangabwärtsbewegungen, mangelnde Gründung und Ettringitreiben erhebliche Schäden im Mauerwerk auf. Durch statisch-konstruktive Sicherungsmaßnahmen sollen weitere Schadensfortschritte verhindert werden. Die Sicherungsmaßnahmen umfassen den Einbau eines Stahlbetonringbalkens im Bereich des Fundamentes, die Aussteifung des Gebäudes mit Stahl- und Stahlbetonkonstruktionen, den Einbau von Zugankern im Dach und die Konsolidierung der Strebepfeiler.

An einem Strebepfeiler wurde vor und nach der Belastung jeweils ein Belastungsversuch vorgenommen, um die Verbesserung des Verbundes zwischen Mauerwerk und Strebepfeiler zu beurteilen. Die Konsolidierung des Strebepfeilers umfaßte die Vernadelung, Vorspannung, Verfugung und Nachgründung durch Einbringen von Bohrpfählen. Durch die Belastungsversuche konnte eine Erhöhung des Verbundes zwischen Strebepfeiler und Wand nachgewiesen werden.

8 LITERATUR

- [1] Baumgarten, H.; Kirchschrager, M.; Stolle, T.; Pohl, P.: Runneburg - Eine romanische Burganlage in Weißensee/Thüringen, Außergewöhnliche Sicherungen und Sanierungen. 1994
- [2] Baumgarten, H.; Statische konstruktive Ausführungen zur Sanierungsplanung der Runneburg in Weißensee, Juni 1994
- [3] Beecken, C.; Wigger, H.; Rostásy, F.S.: Verformungsmessungen an faserbewehrten Mörteln zur Fugeninstandsetzung. Berichte zur Denkmalpflegeforschung, MPA Braunschweig, Mai 1997
- [4] Beier, E.; Jäger, H.; Stolle, Th.: Denkmalpflegerische Zielstellung der Runneburg in Weißensee, Kreis Sömmerda. Weißensee, 12.1993
- [5] Bernuth, W.; Pfirschke, H.; Vogler, W.-D.: Sanierungsbegleitende meßtechnische Untersuchungen am Turm der mittelalterlichen Runneburg in Thüringen. In: Meßtechnische Briefe 28, Nr. 2, S. 36-40, 1992.
- [6] Grimm, W.-D.: Bildatlas wichtiger Denkmalgesteine der Bundesrepublik Deutschland. München: Verlag Karl M. Lipp, 1990.
- [7] Haßelmann, J.: Mustersanierung eines Strebepfeilers an der Runneburg in Weißensee, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, (Studienarbeit), 1996
- [8] Heise, G.; Schleussener, H.P.: Ingenieurgeologische Untersuchungen zur schonenden Erkundung von baugrundbedingten Schäden an historischen Bauwerken. In: Geotechnik in der Denkmalpflege, Ernst & Sohn GmbH., Berlin, S. 3-21, 1994.
- [9] Kirchschrager, M. ; Stolle, T.: Die Runneburg in Weißensee - Eine der mittelalterlichen Residenzen der Landgrafen von Thüringen. IfBuG Baumgarten und Partner. Erfurt/Leipzig: IfBuG, 1994.
- [10] Knöfel, D.; Schubert, P.: Handbuch Mörtel und Steinerfüllungsmittel in der Denkmalpflege, Verlag Ernst & Sohn Berlin, München, 1993.
- [11] Lucas, H. G.: Gips als historischer Außenbaustoff in der Windsheimer Bucht : Verbreitung, Gewinnung und Beständigkeit im Vergleich zu anderen örtlichen Naturwerksteinen. Dissertation an der RWTH Aachen. Aachen: RWTH, 1992
- [12] Mielke, I.: BMFT-Pilotprojekt Runneburg Weißensee/Thüringen : 1. Zwischenbericht HAB Weimar. Weimar: HAB, August 1993, unveröffentlicht
- [13] Mielke, I.: Kurzbericht zur Injektion an der Runneburg/Ostwand. Bauhaus-Universität Weimar, 13.11.1996
- [14] Mielke, I.; Herbach, D.: BMFT-Pilotprojekt Runneburg Weißensee/Thüringen : 2. Zwischenbericht HAB Weimar. Weimar: HAB, Dezember 1993, unveröffentlicht
- [15] Mielke, I.; Stürmer, S.; Herbach, D.: BMFT-Pilotprojekt Runneburg Weißensee/Thüringen: Abschlußbericht HAB Weimar. Weimar: HAB, Juni 1993, unveröffentlicht
- [16] Pieper, K.: Sicherung historischer Bauten, Verlag Ernst & Sohn Berlin, München, 1983.

- [17] Quast, U.; Busjäger, D.: Programmgesteuerte Berechnung beliebiger Massivbauquerschnitte unter zweiachsiger Biegung mit Längskraft (Programm MASQUE). Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Heft 415, 1990
- [18] Rinne, A.; Rostásy, F.S.: Fugeninstandsetzung an der Runneburg in Weißensee/Thüringen, Berichte zur Denkmalpflegeforschung, MPA Braunschweig, Dezember 1996
- [19] Sahba, A.; Schöne, I.: Untersuchungen zum Tragverhalten von Mauerwerk aus Elbsandstein. In: Bautechnik 71, Heft 3, S. 161-166, 1994.
- [20] Stolle, T.; Jäger, H.: Denkmalpflegerische Zielsetzung der Runneburg in Weißensee, Kreis Sömmerda. Protokoll, 02.12.1993, unveröffentlicht
- [21] Stolle, T.; Kirchschlager, M.: Die Runneburg in Weißensee - Eine mittelalterliche Pfalz der Thüringer Landgrafen (informeller Bericht). In: Burgen und Schlösser, Sonderheft 1991, S. 4 - 14
- [22] Thüringisches Amt für Denkmalpflege: Projektskizze für Forschung und Entwicklung im Rahmen der vom BMFT geförderten Denkmalpflege-Forschung: Pilotobjekt St. Johanniskirche : Teil 1. Fulda, November 1992
- [23] Verein zur Rettung und Erhaltung der Runneburg in Weißensee/Thüringen (Hrsg.): Festschrift zur 825-Jahrfeier der Runneburg in Weißensee. Schriftenreihe des Vereins zur Rettung und Erhaltung der Runneburg in Weißensee/Thüringen. Heft 2, 1993
- [24] Warnecke, P.: Tragverhalten und Konsolidierung von historischem Mauerwerk, Dissertation, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, 1995.
- [25] Warnecke, P.; Rostásy, F.S. Budelmann, H.: Tragverhalten und Konsolidierung von Wänden und Stützen aus historischem Natursteinmauerwerk; Mauerwerk-Kalender, Verlag Ernst & Sohn Berlin, München, 1995.
- [26] Warnecke, P.; Wigger, H.; Rostásy, F.S.: Zur Tragfähigkeit des Mauerwerks der St. Johanniskirche in Ellrich 1996 (unveröffentlicht).
- [27] Weiss, W.: Lastumlagerungen durch Eingriffe an Bauwerk und Gründung. In: Geotechnik in der Denkmalpflege, Ernst & Sohn GmbH., Berlin, S. 73-79, 1994
- [28] Weiss, W.; Neuhäuser M.: Runneburg Weißensee: Fundament - und Baugrunduntersuchungen an der südlichen Palaswand. Hochschule für Architektur und Bauwesen, Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, Lehrstuhl für Grundbau, Mai 1994 (unveröffentlicht)
- [29] Weiss, W.; Neuhäuser M.; Büchner, U.: Tragstabilitäten/-Schwächen an Gründungen und im Baugrund von Baudenkmalern. BMFT-Denkmalpflegeforschung Statusbericht 02/95 zum Vertrag BMFT BAU - 5033A, MFPA Weimar, Februar 1995 (unveröffentlicht).
- [30] Wigger, H.; Rostásy, F.S.: Sondierung an der Turmnordwand der Runneburg in Weißensee, Berichte zur Denkmalpflegeforschung, MPA Braunschweig, April 1994
- [31] Wigger, H.; Rostásy, F.S.: Zur Interaktion zwischen Wand und Strebeböfeler - in-situ Versuche an der Runneburg. In: Fachtagung „Konsolidierung von historischem Natursteinmauerwerk“, 6. und 7. November 1997, TU Braunschweig, Herausgeber: F.S. Rostásy, H. Wigger, S. 29-40, 1997

ANHANG A : RISSBREITENÄNDERUNG

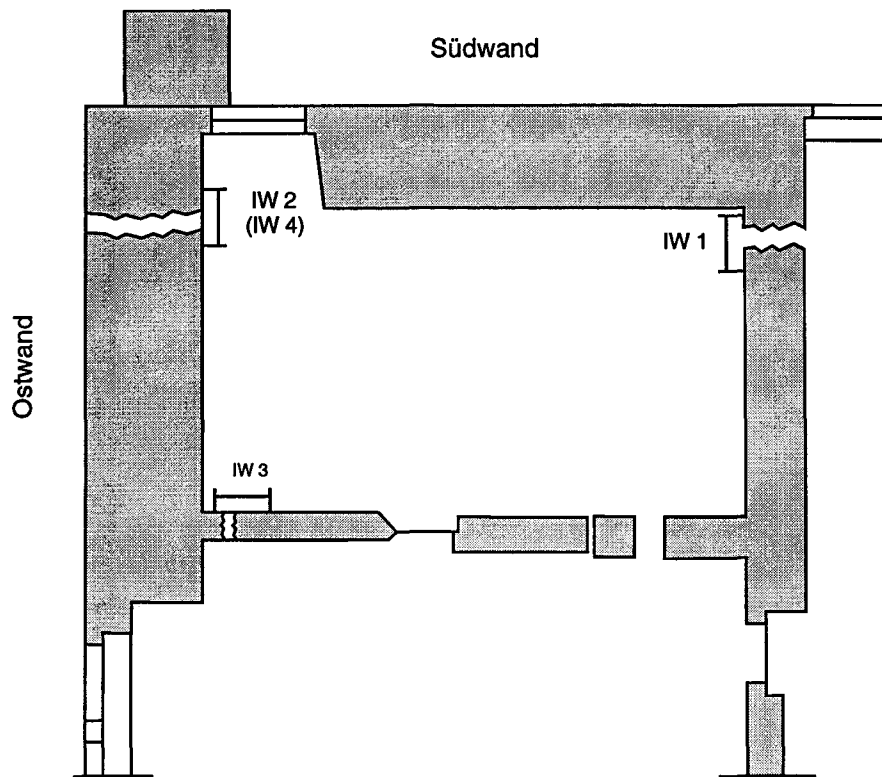


Abb. A 1: Lage der Meßstellen zur Rißbreitenmessung (Grundriß)

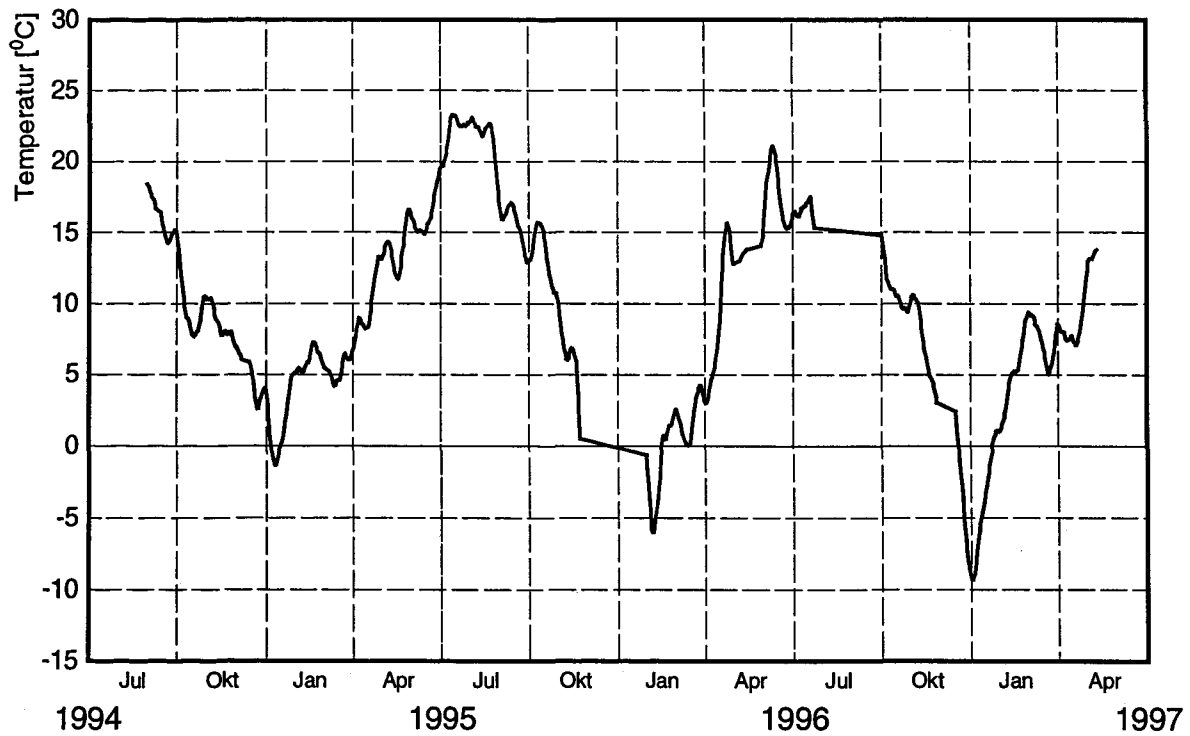


Abb. A 2: Temperaturverlauf im Bereich der Meßstellen

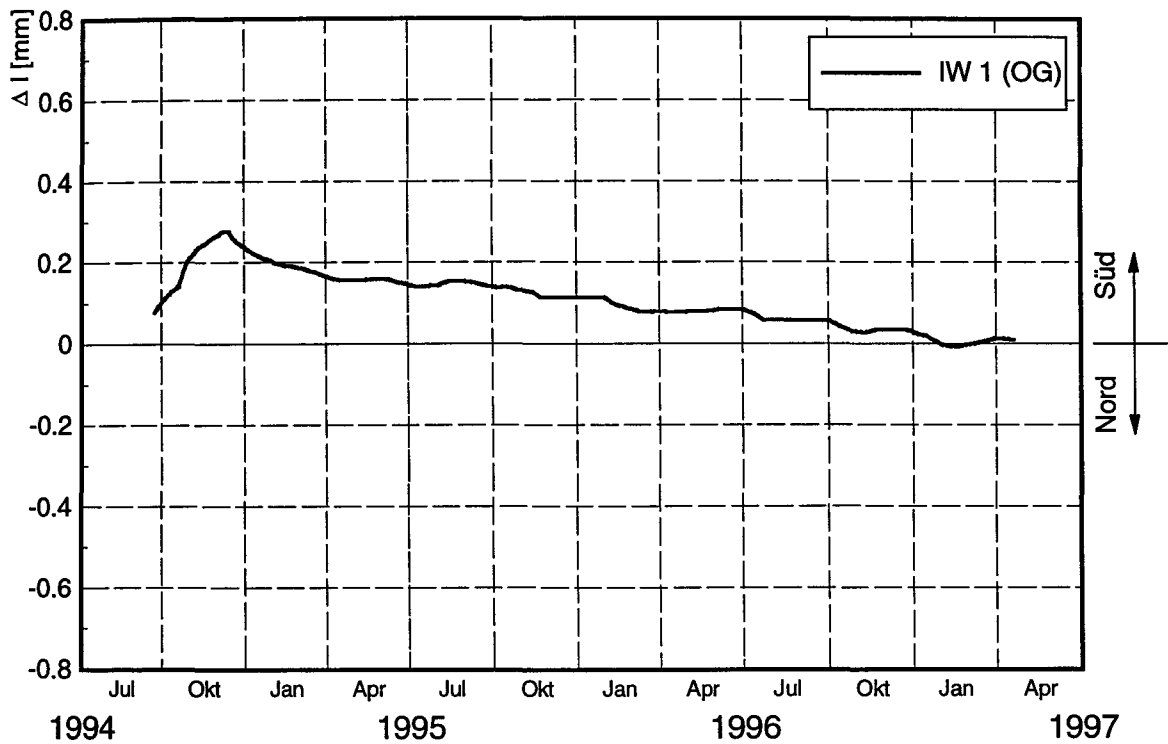


Abb. A 3: Rißbreitenänderung (Meßstelle 1)

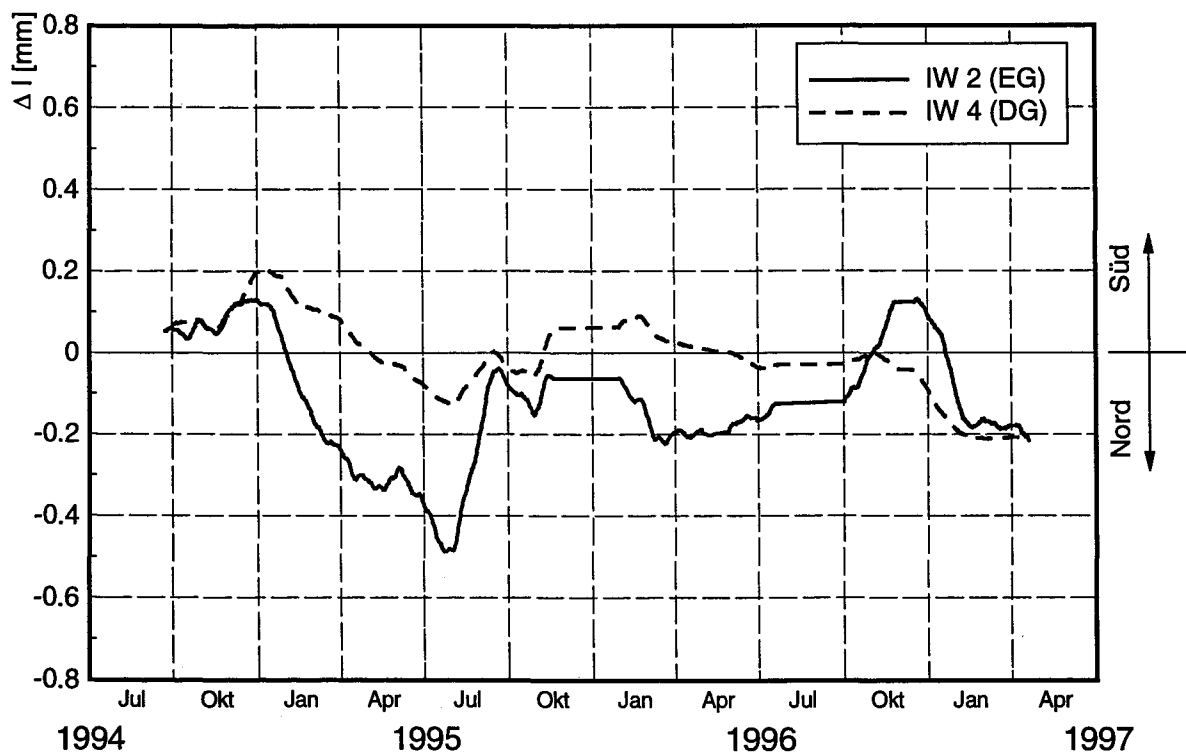


Abb.A 4: Rißbreitenänderung (Meßstelle 2 und 4)

ANHANG B : ENDOSKOPIEUNTERSUCHUNGEN

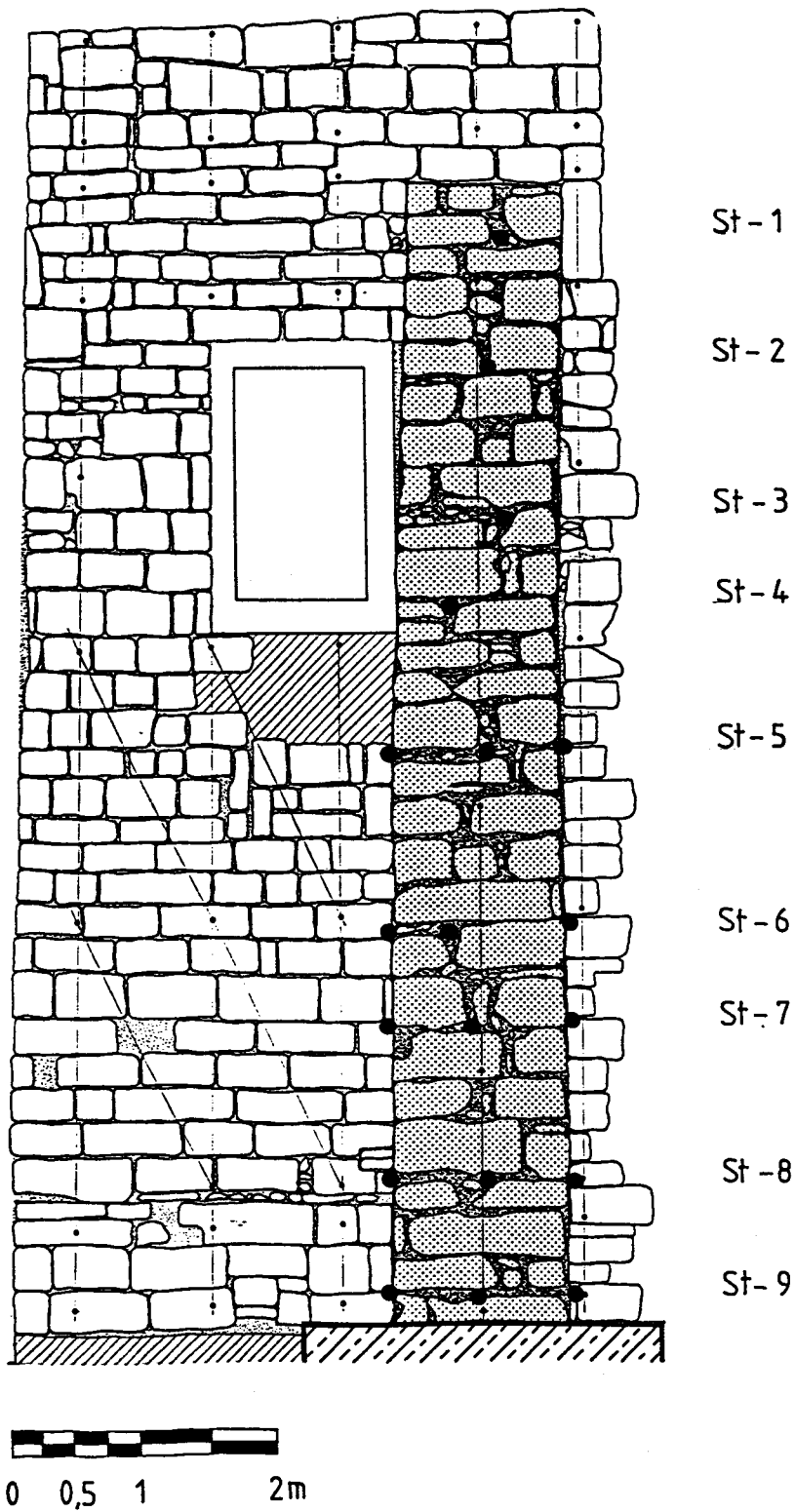


Abb. B 1: Lage der Endoskopieprofile

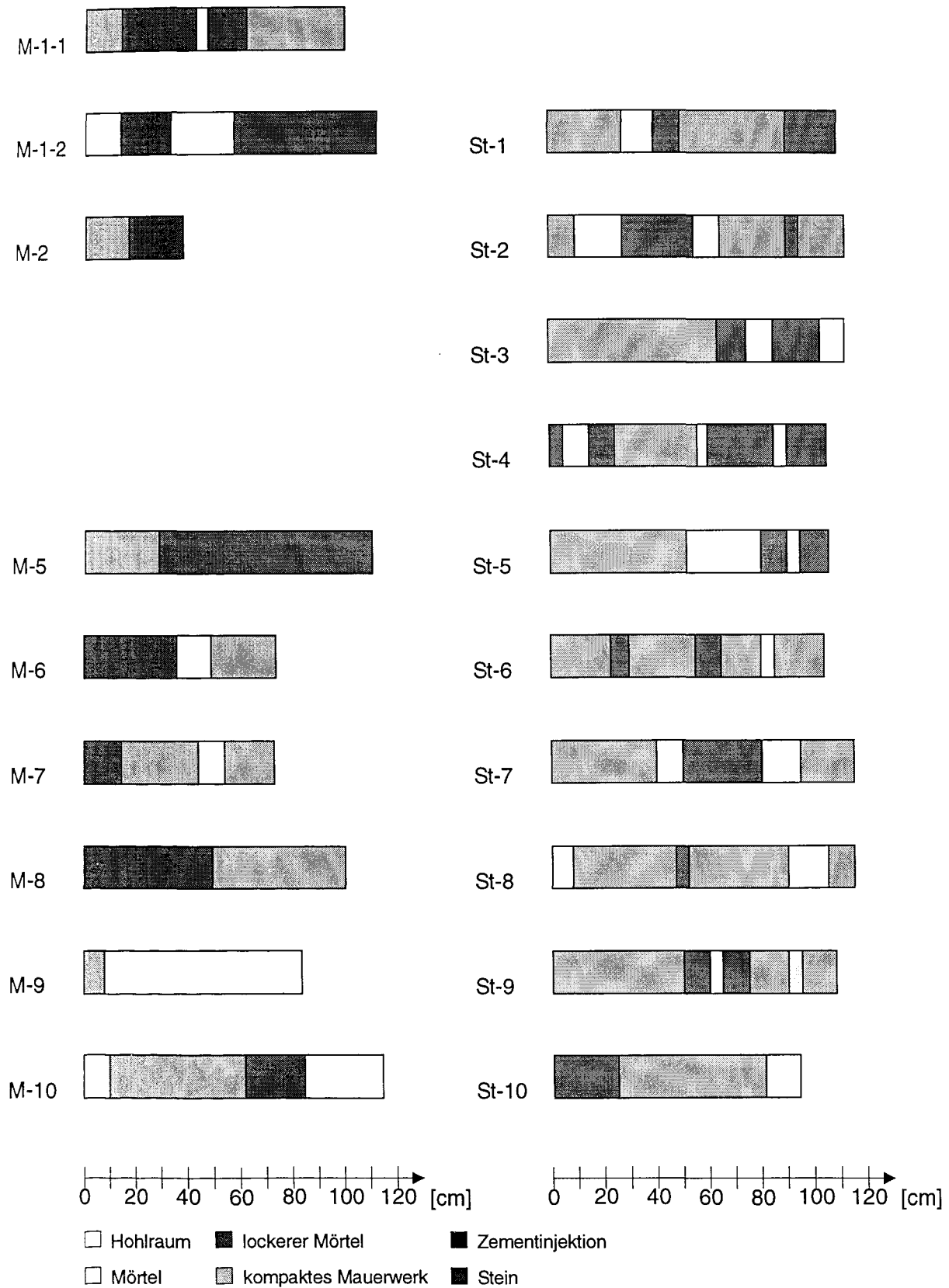


Abb. B 2: Endoskopieprofile im Bereich des angrenzenden Mauerwerks und des Strebe-
pfeilers im oberen Bereich

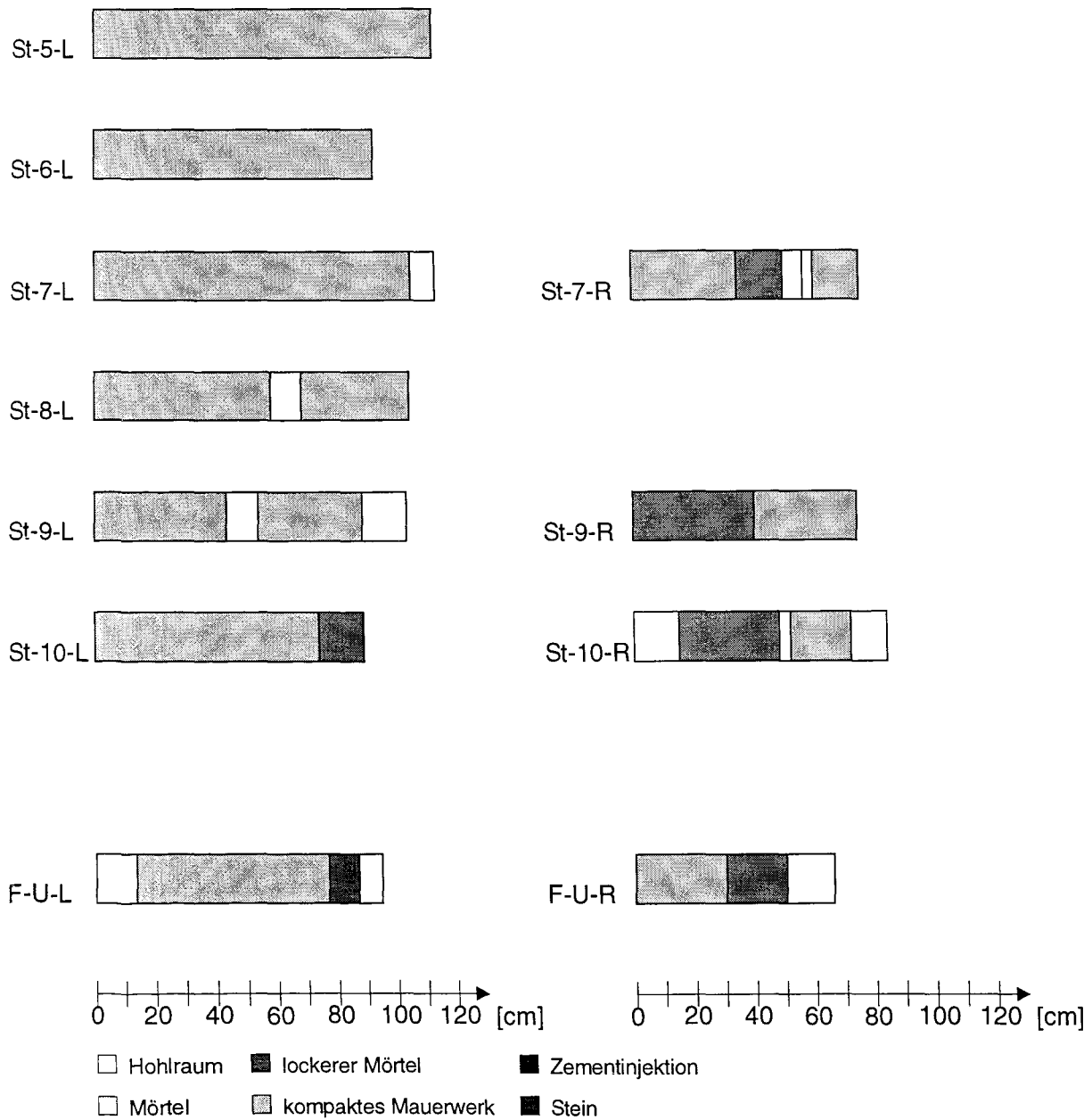


Abb. B 3: Endoskopieprofil im Bereich des angrenzenden Mauerwerks und des Strebe-
pfeilers im oberen Bereich

Anlage Nr.:

zum Untersuchungsbericht Nr.: 8023/8424

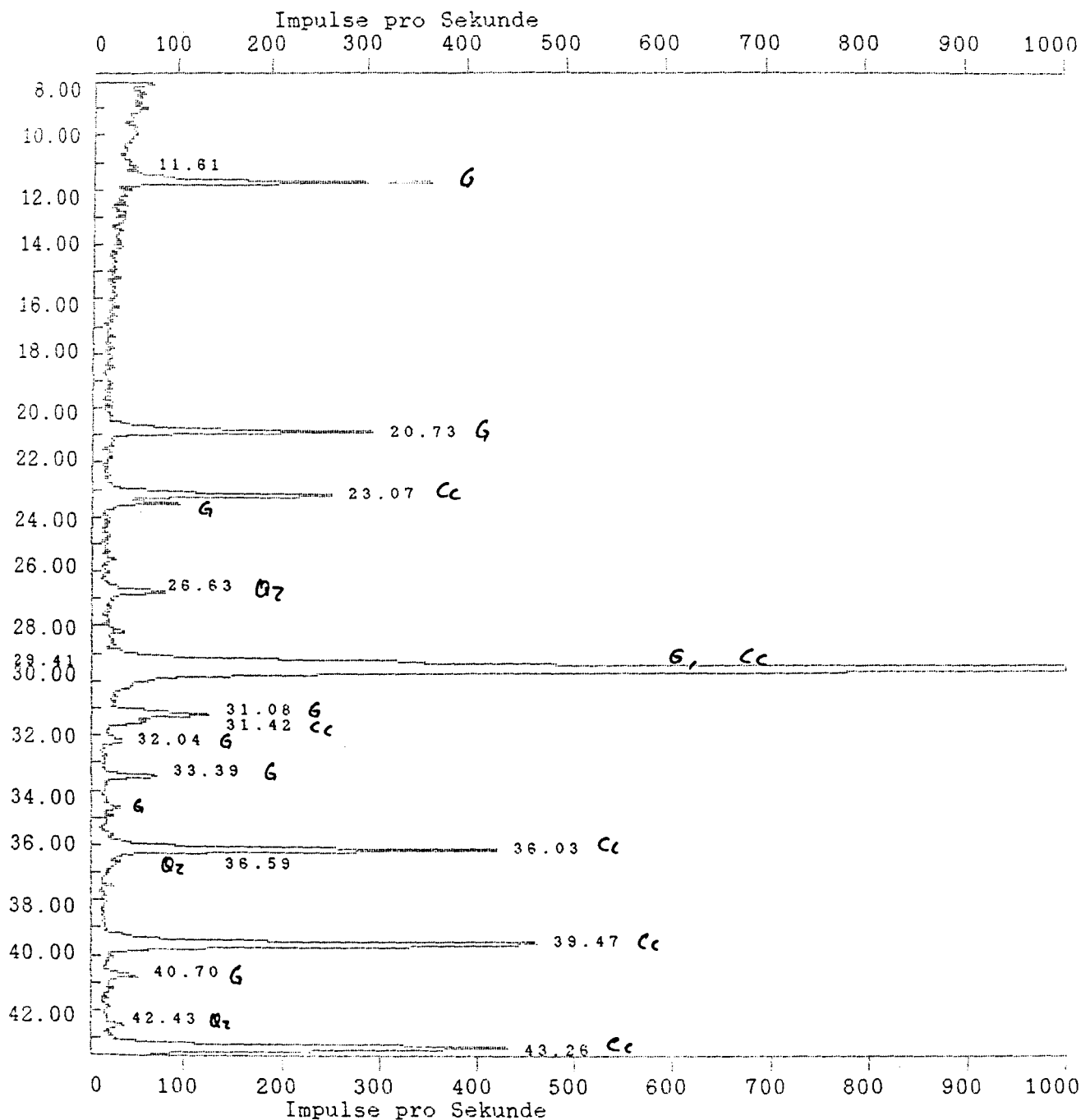
Röntgenfeinstrukturanalyse: Beugungsdiagramm

Meßtittel: Run95-15

Antragsteller: BMFT

Projekt : Runneburg

Probe : Bohrmehl St9 0 - 85 cm



Plotbeginn	: 8.00 Grad 2θ	Dämpfung	: 2.00
Plotende	: 44.05 Grad 2θ	Reflexmarkierung	: 2 Theta-Wert
Winkelmarken	: 1.00 Grad 2θ	Art	: Schwerpunkt
Papiervorschub	: 2.00 Grad pro cm	Datum der Messung	: 19.5.1995

Abb. B 4: Beugungsdiagramm der Röntgenfeinstrukturanalyse
Probe Bohrloch ST 9 (0-85 cm)

Anlage Nr.:

zum Untersuchungsbericht Nr.: 8023/8424

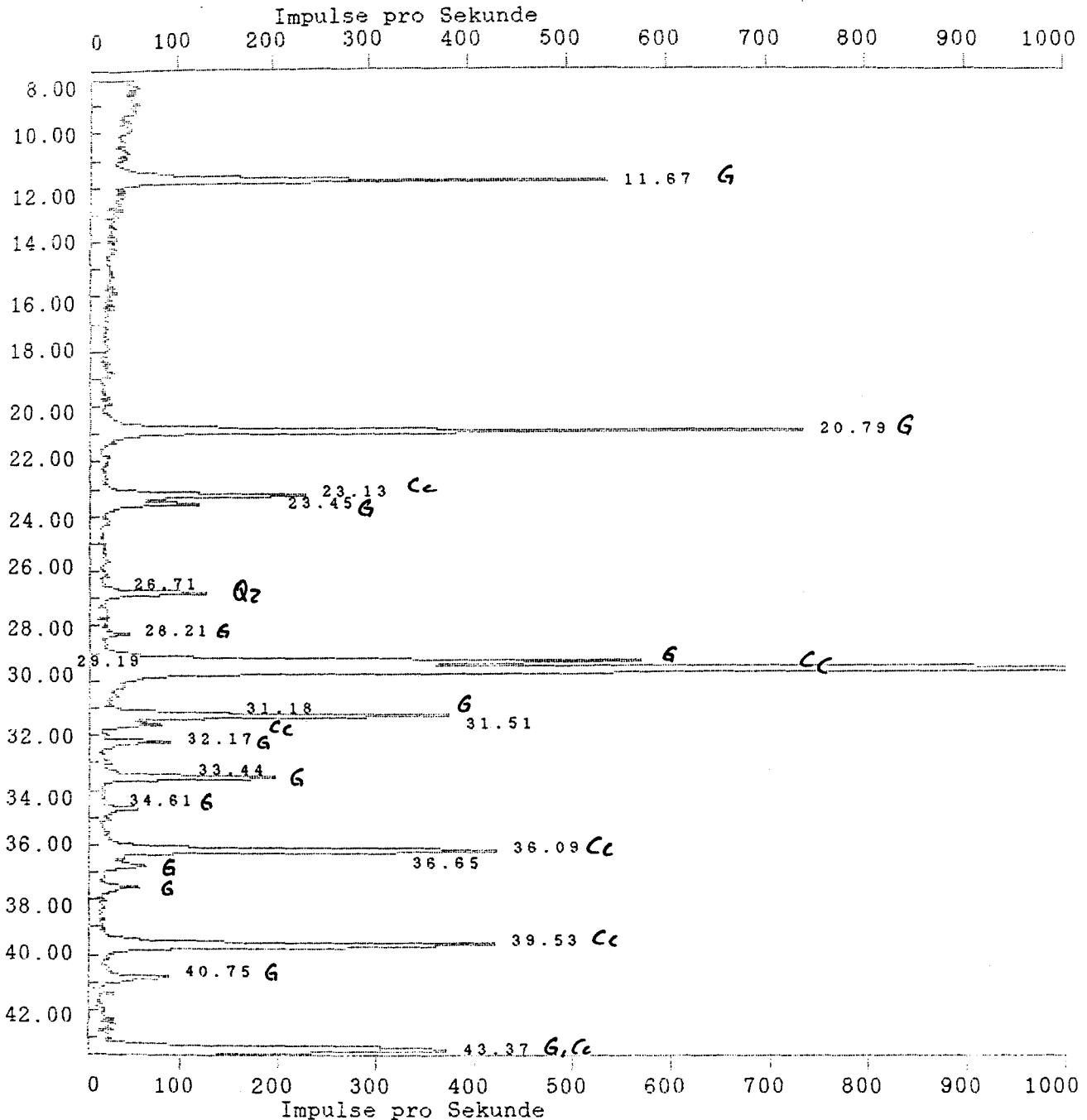
Röntgenfeinstrukturanalyse: Beugungsdiagramm

Meßtittel: Run95-16

Antragsteller: BMFT

Projekt : Runneburg

Probe : M10 0-80 Bohrmehl < 40 µm



Plotbeginn	: 8.00 Grad 2θ	Dämpfung	: 2.00
Plotende	: 44.05 Grad 2θ	Reflexmarkierung	: 2 Theta-Wert
Winkelmarken	: 1.00 Grad 2θ	Art	: Schwerpunkt
Papiervorschub	: 2.00 Grad pro cm	Datum der Messung	: 19.5.1995

Abb. B 5: Beugungsdiagramm der Röntgenfeinstrukturanalyse
Probe Bohrloch M10 (0-80 cm)

ANHANG C : ERGEBNISSE AUS DEN BELASTUNGSVERUSCHEN

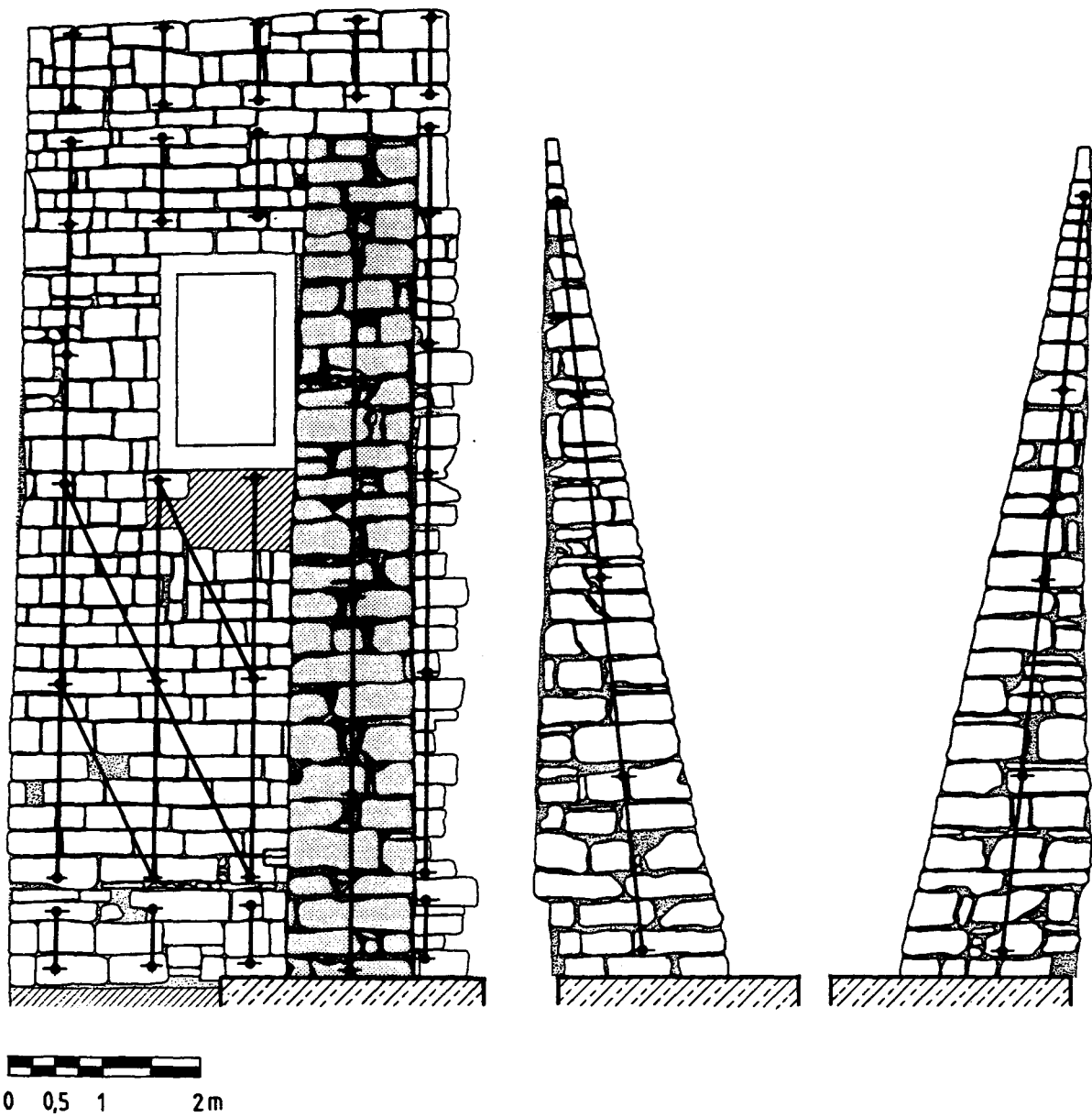


Abb. C.1: Übersicht der Meßstellen

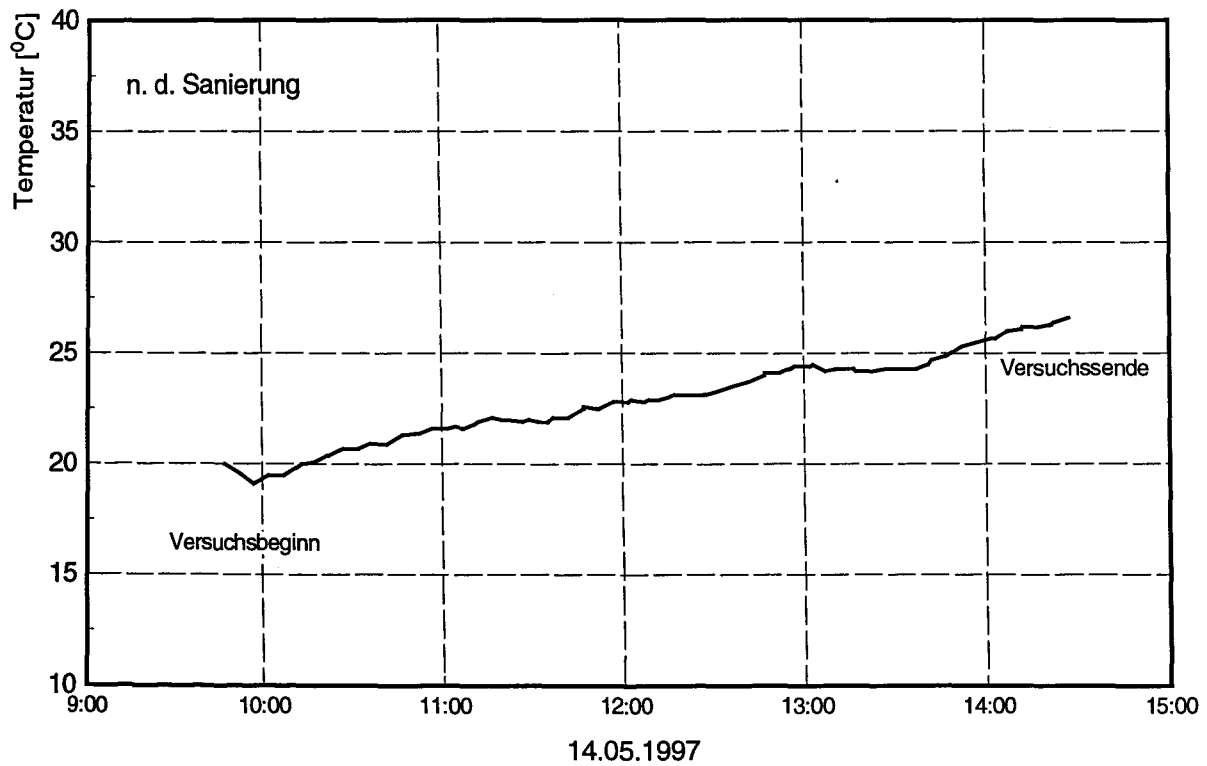
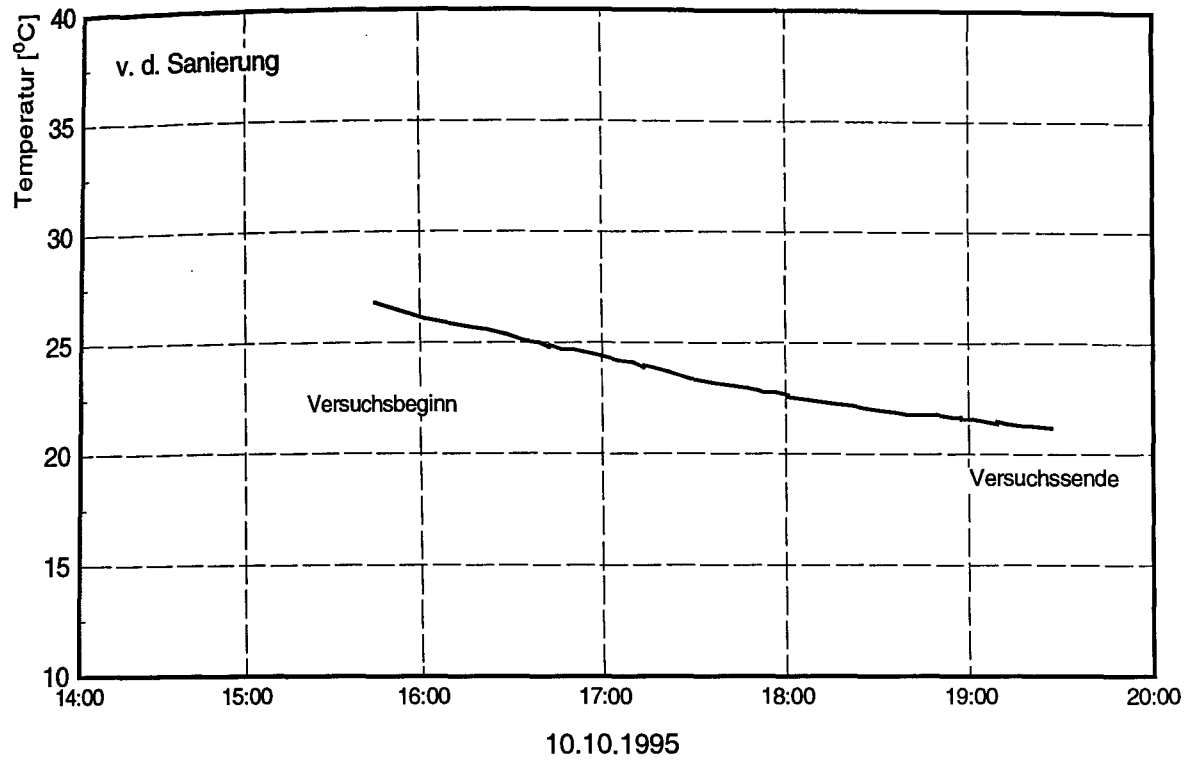


Abb. C.2: Temperaturverläufe während der Belastungsversuche

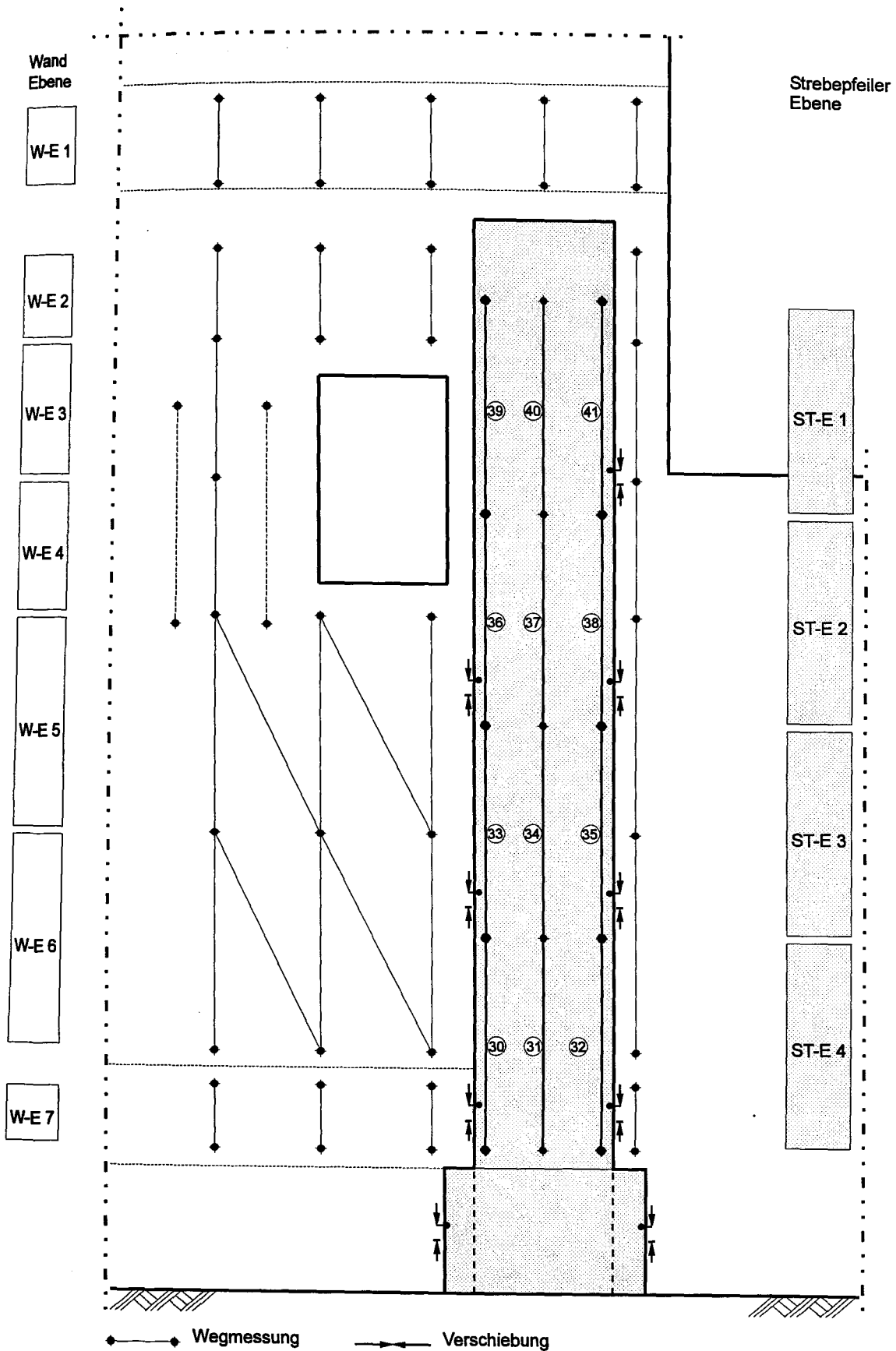


Abb. C.3: Übersicht der Meßstellen auf dem Strebpfeiler

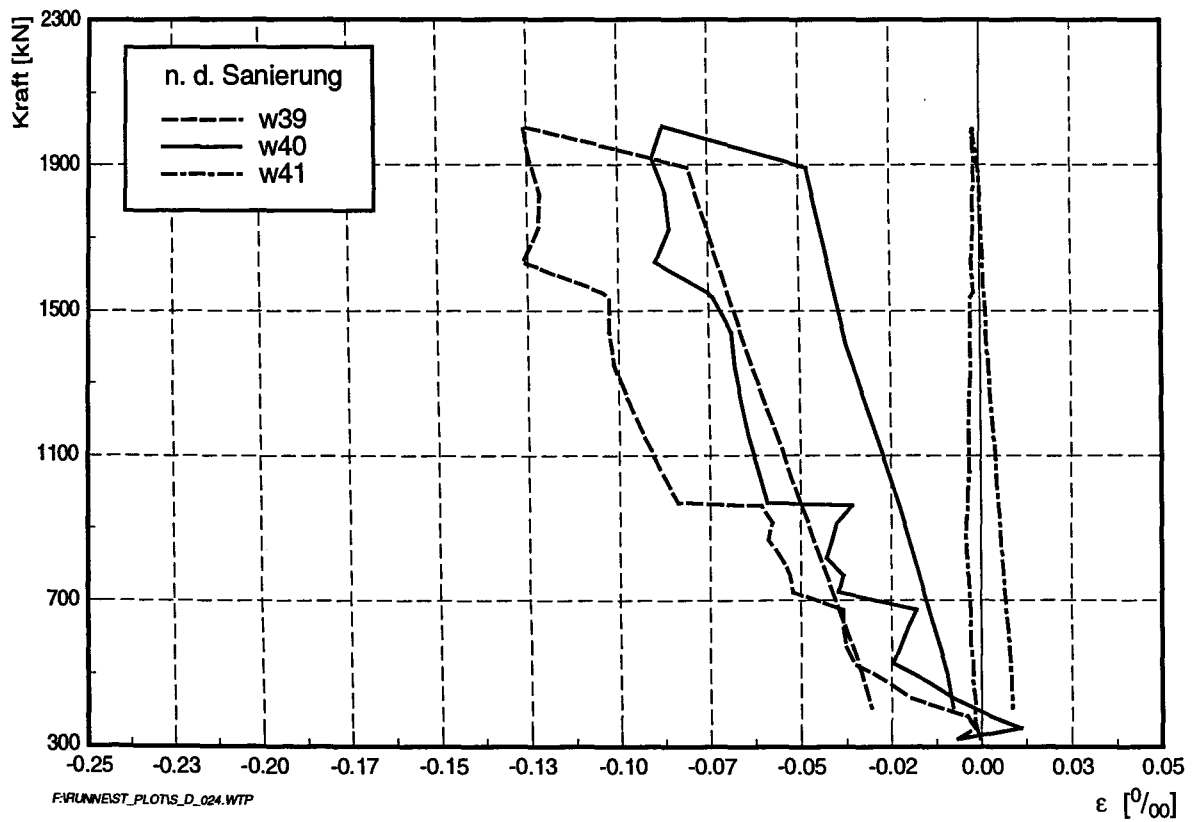
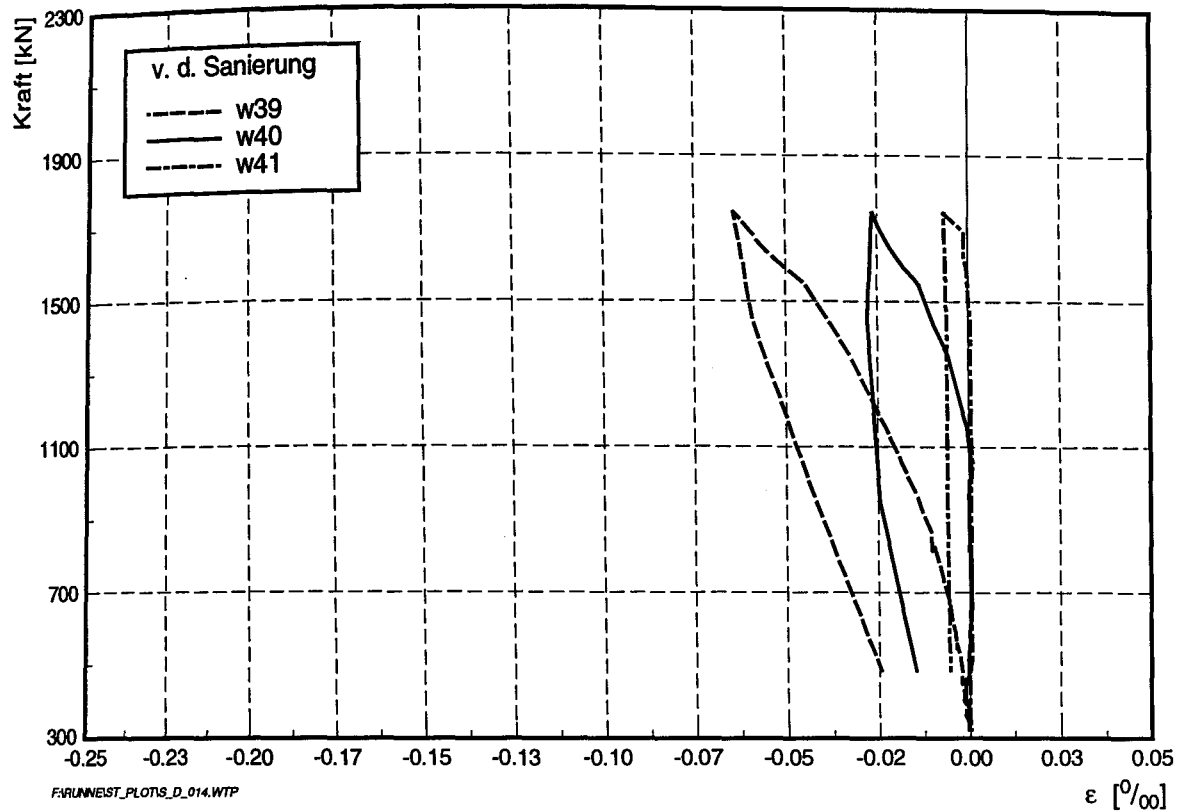


Abb. C.4: Dehnung auf dem Strebepfeiler vor und nach der Sanierung (Strebepfeiler-Ebene 1)

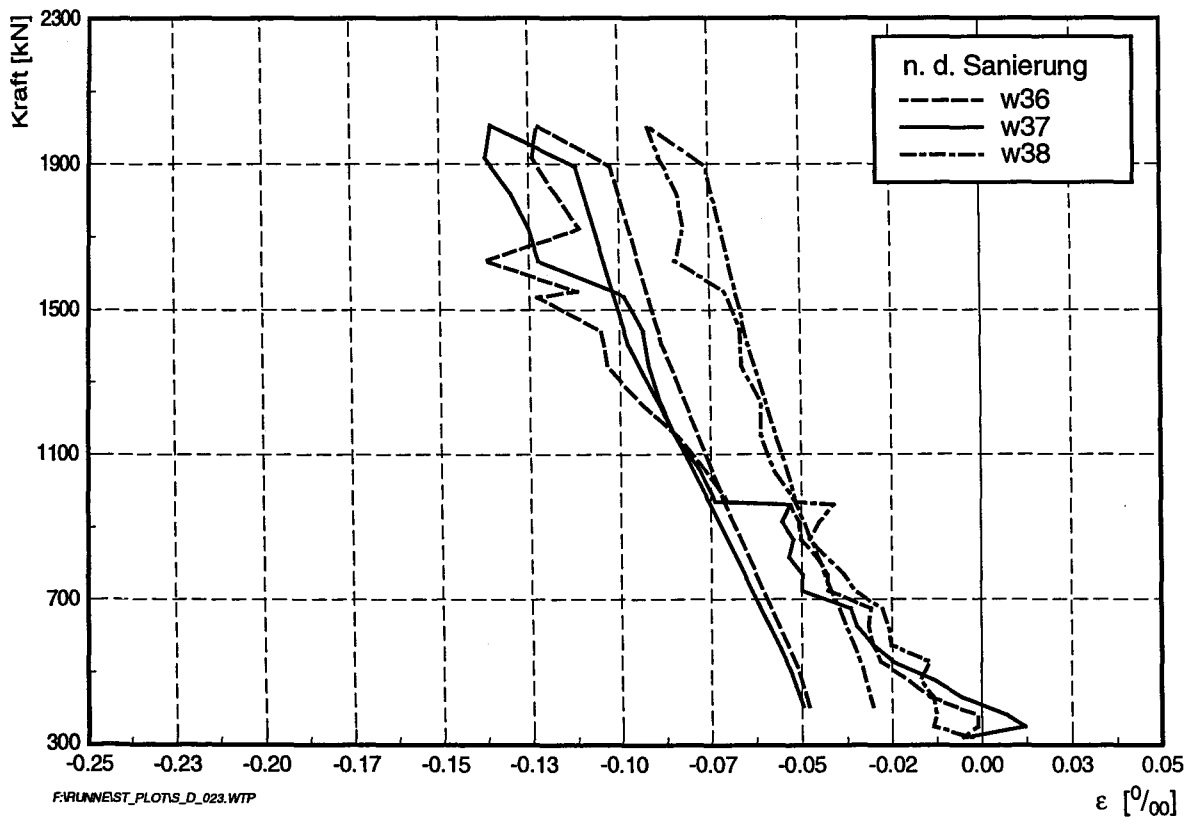
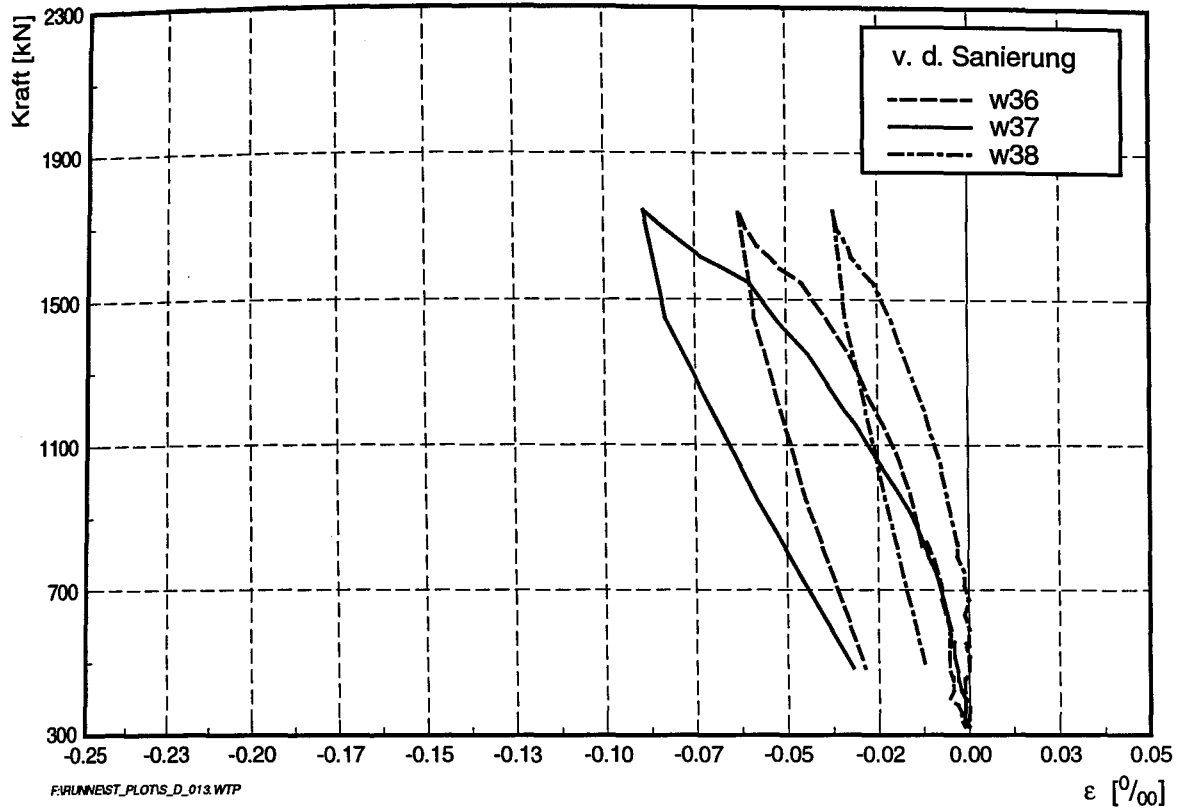


Abb. C.5: Dehnung auf dem Strebeanker vor und nach der Sanierung (Strebeanker-Ebene 2)

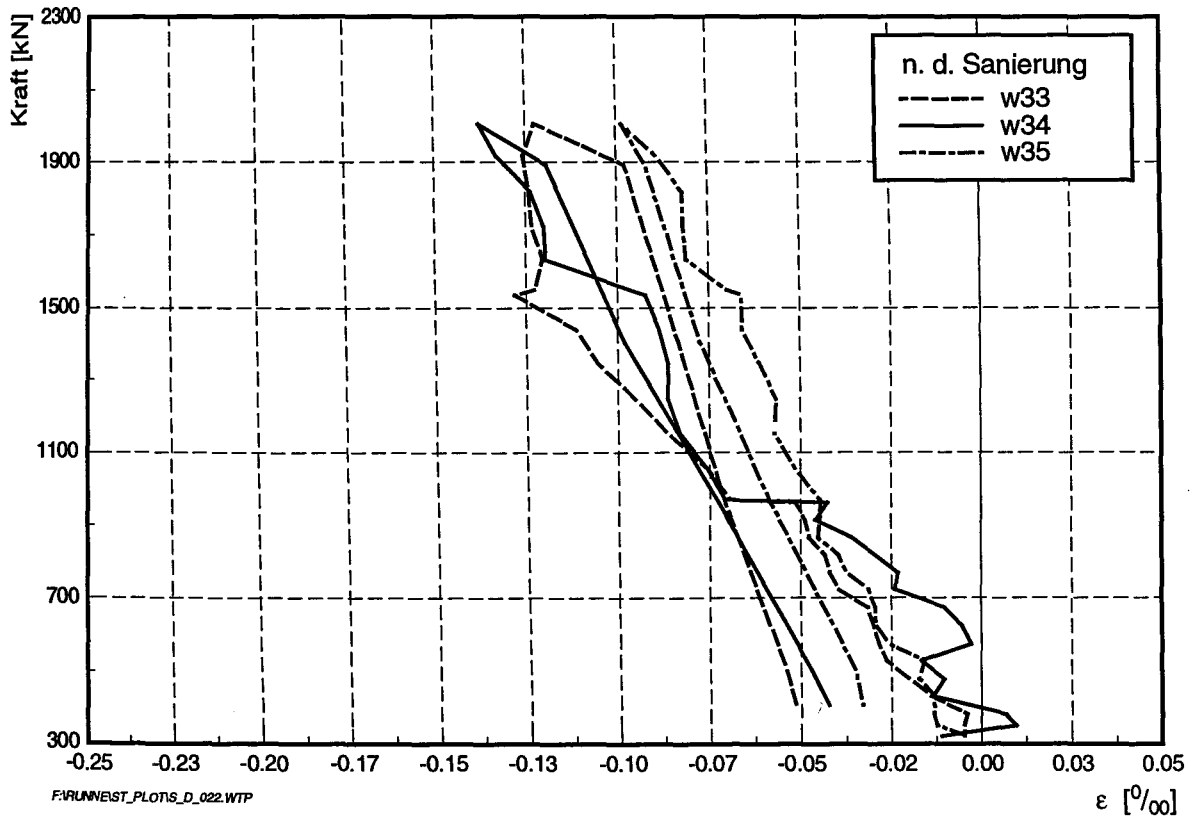
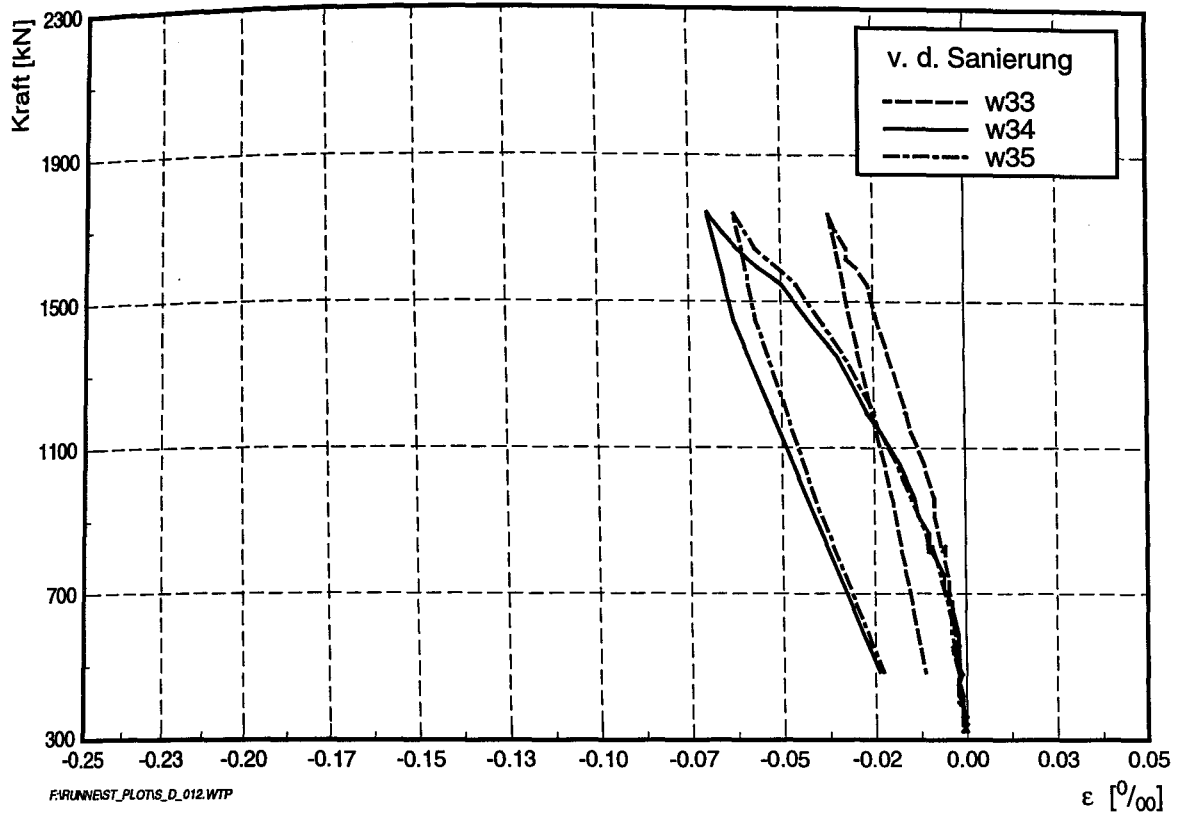


Abb. C.6: Dehnung auf dem Strebeanker vor und nach der Sanierung (Strebeanker-Ebene 3)

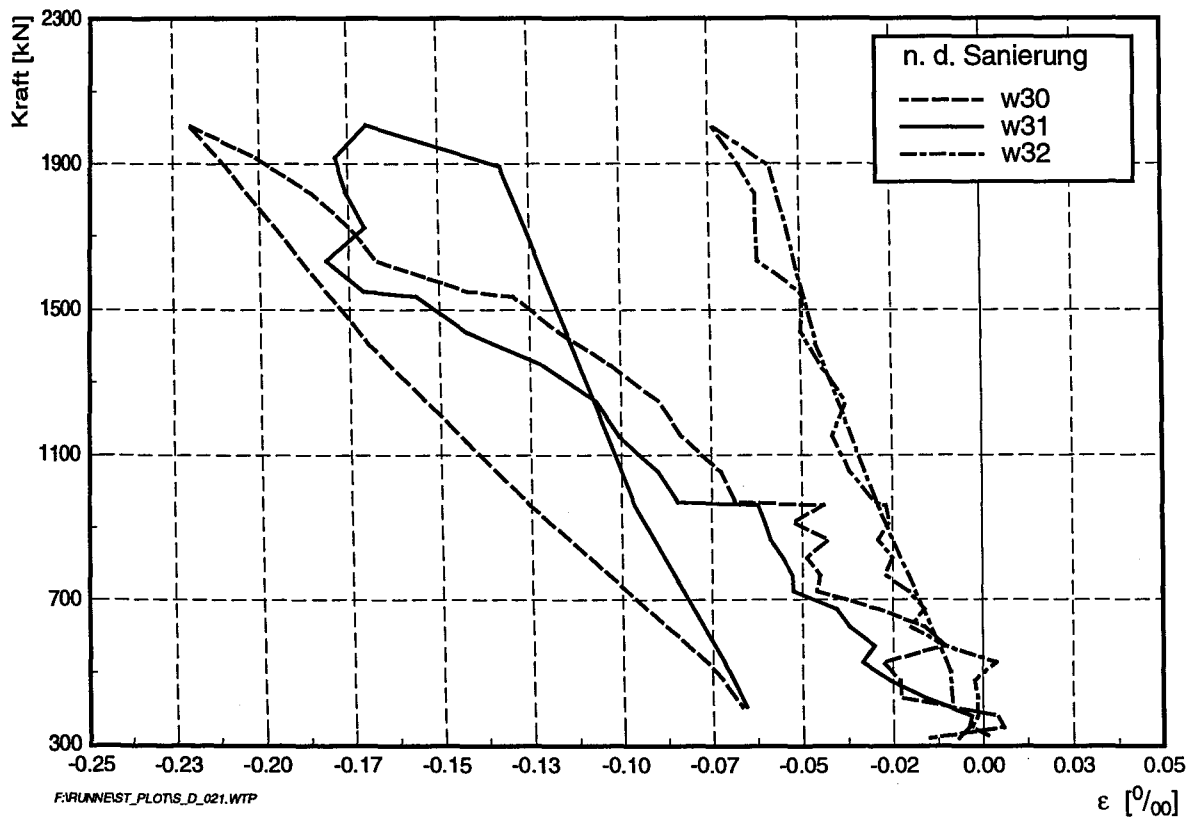
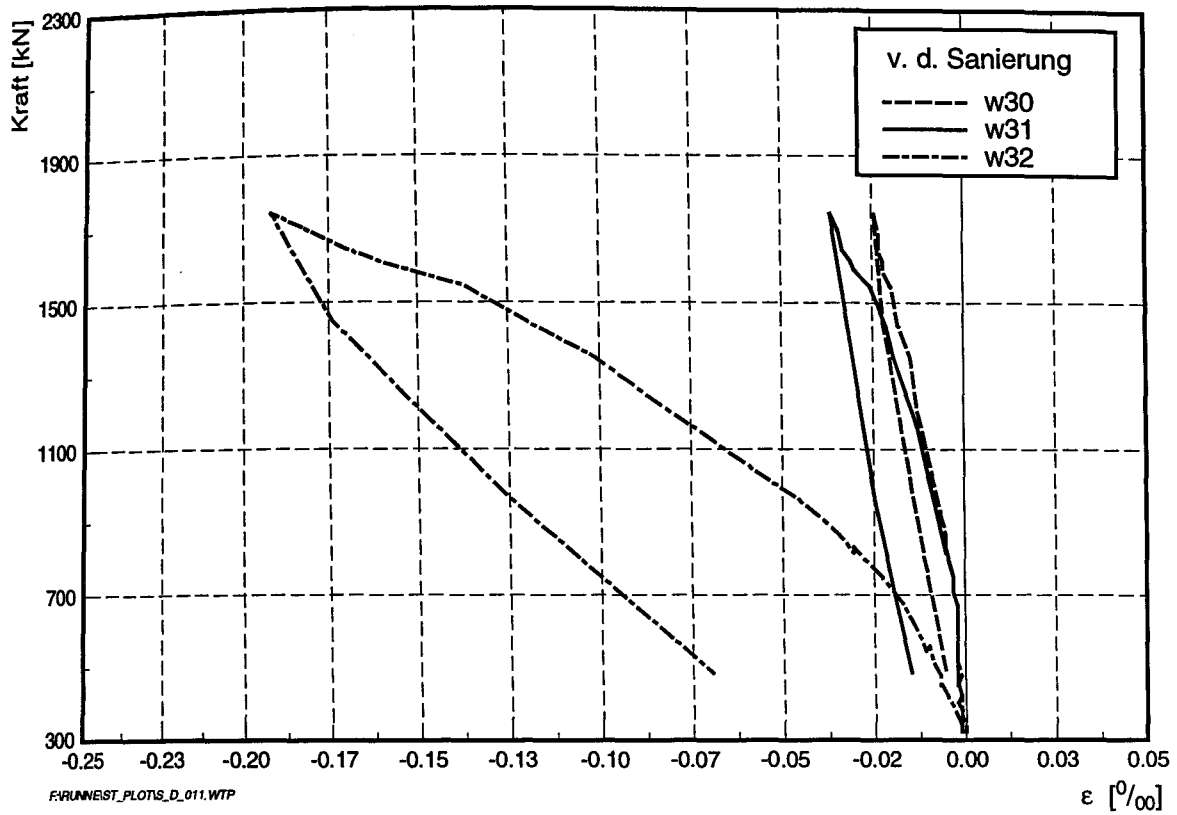


Abb. C.7: Dehnung auf dem Strebepeer vor und nach der Sanierung (Strebepeer-Ebene 4)

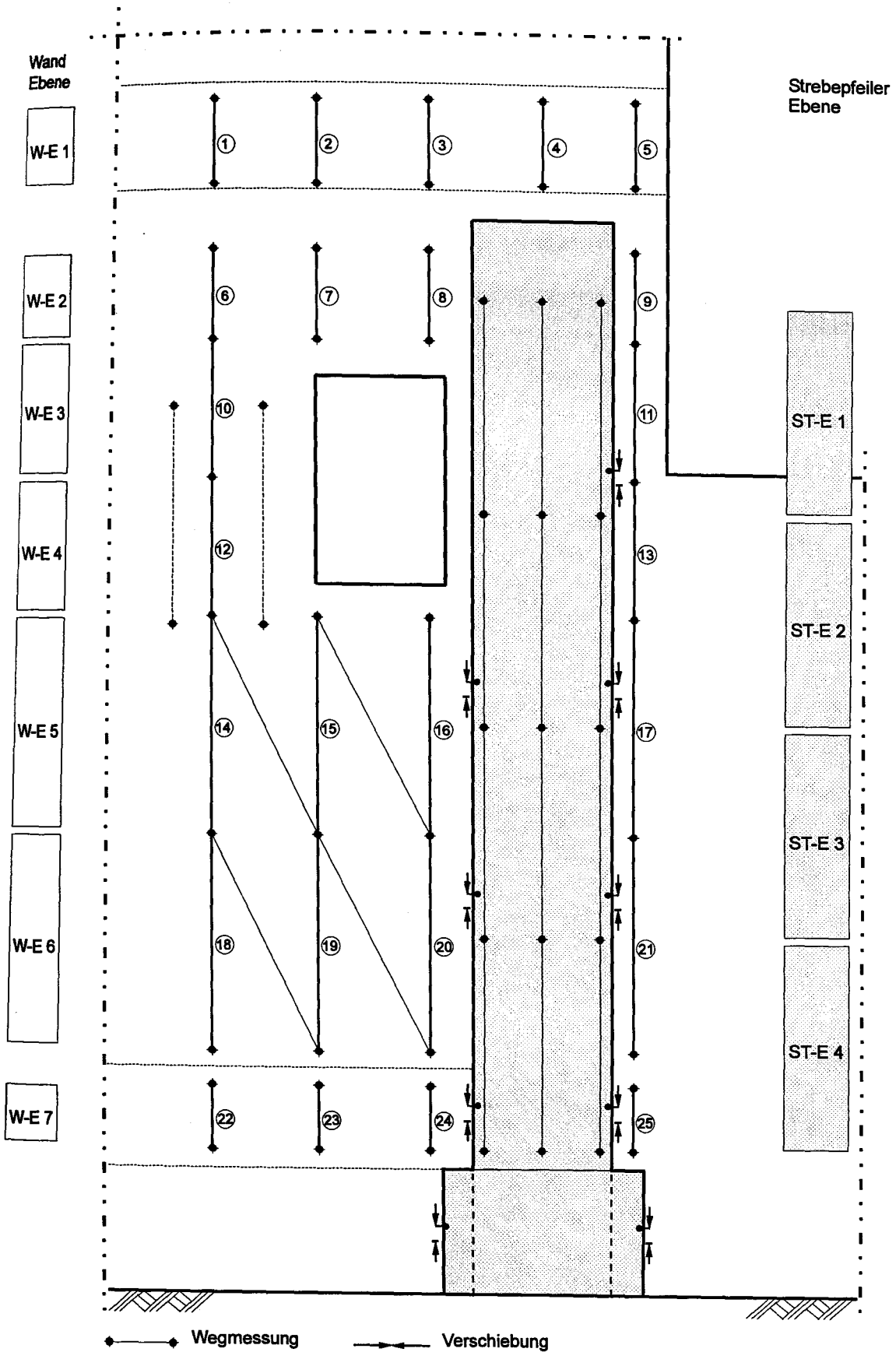


Abb. C.8: Übersicht der Meßstellen (Wand vertikal)

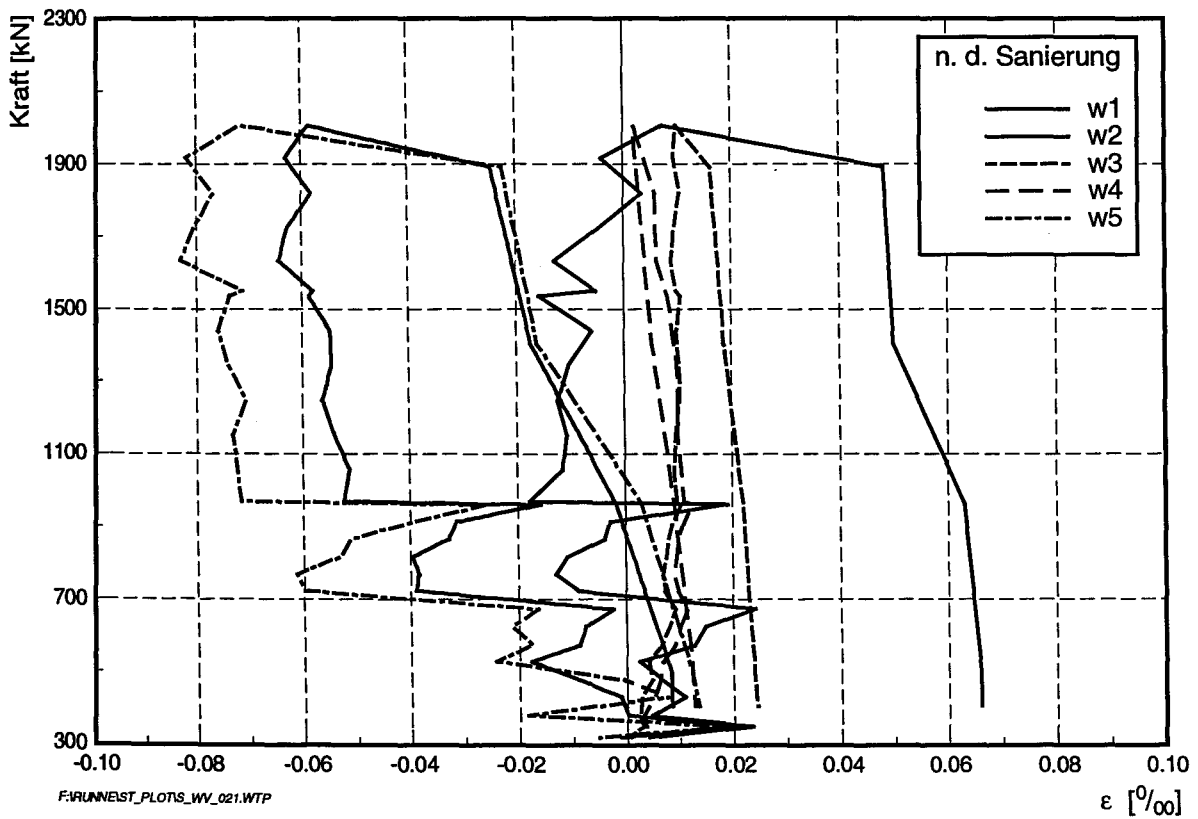
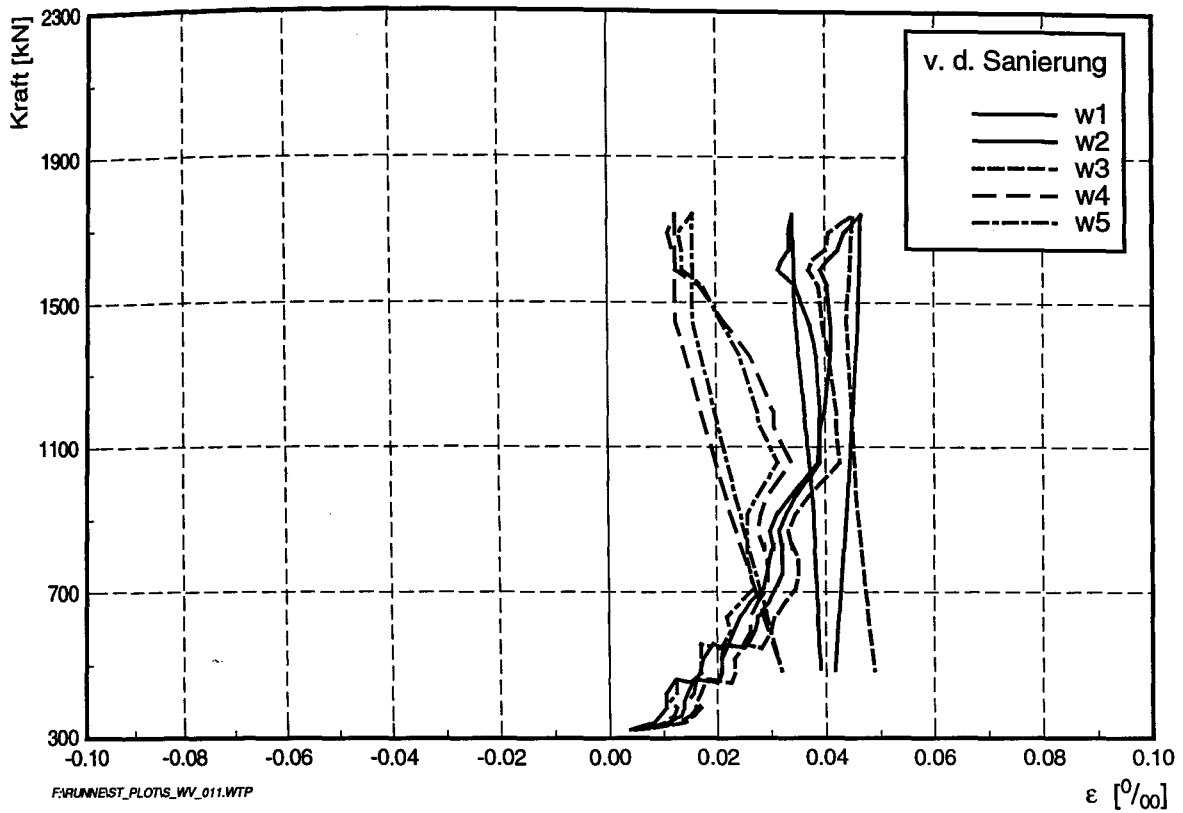


Abb. C.9: Vertikale Dehnung vor und nach der Sanierung auf der Wand (Ebene 1)

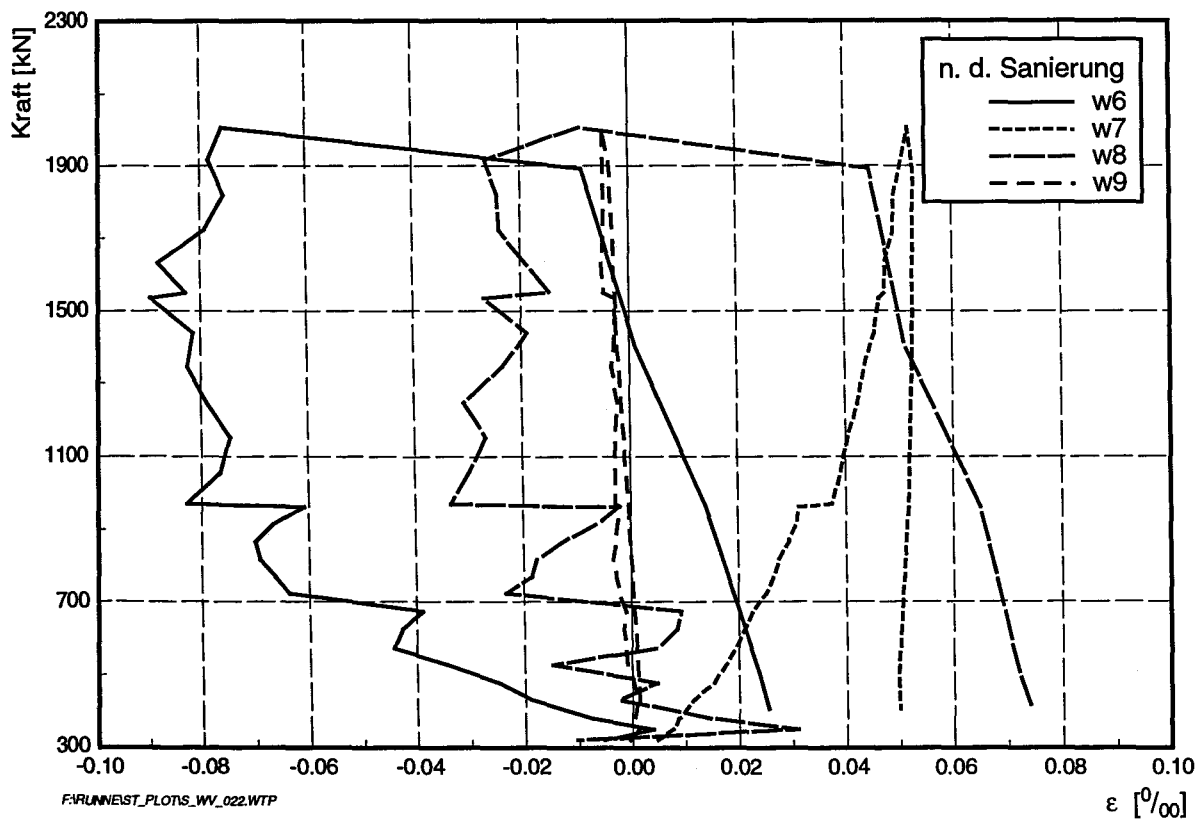
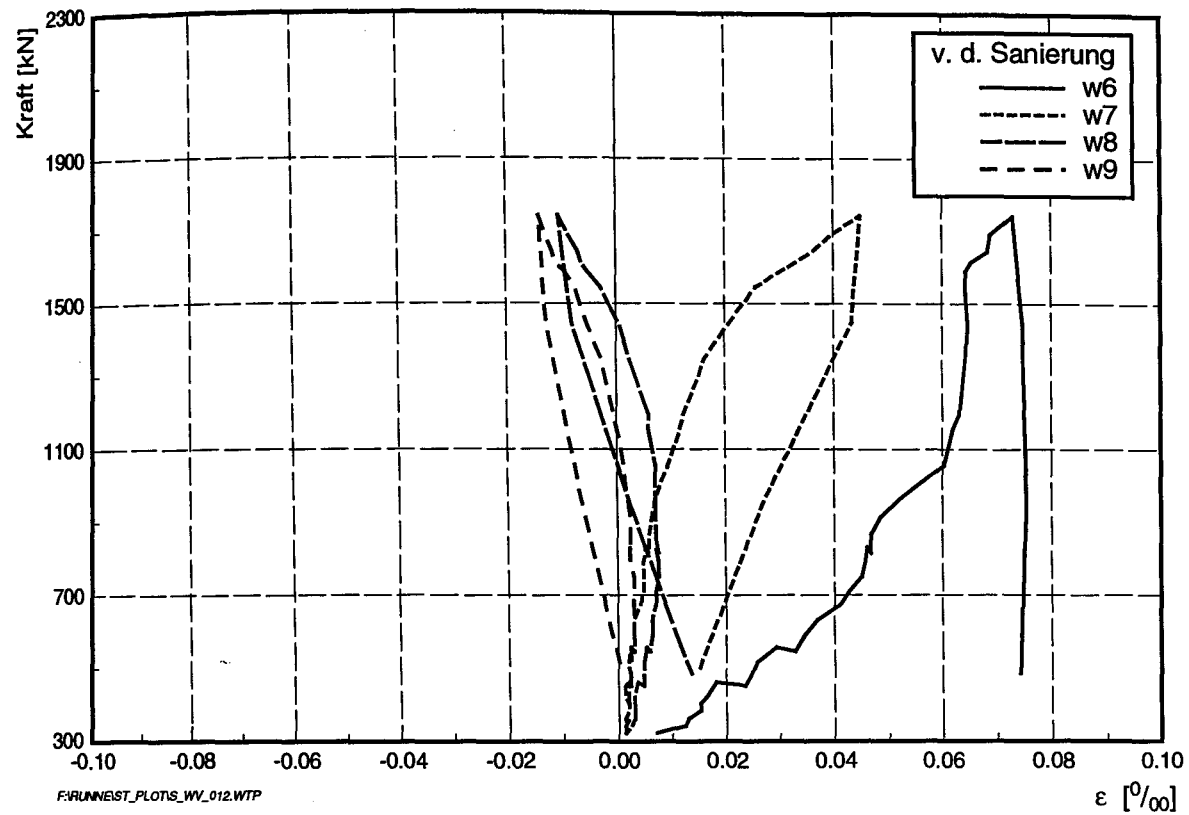


Abb. C.10: Vertikale Dehnung vor und nach der Sanierung auf der Wand (Ebene 2)

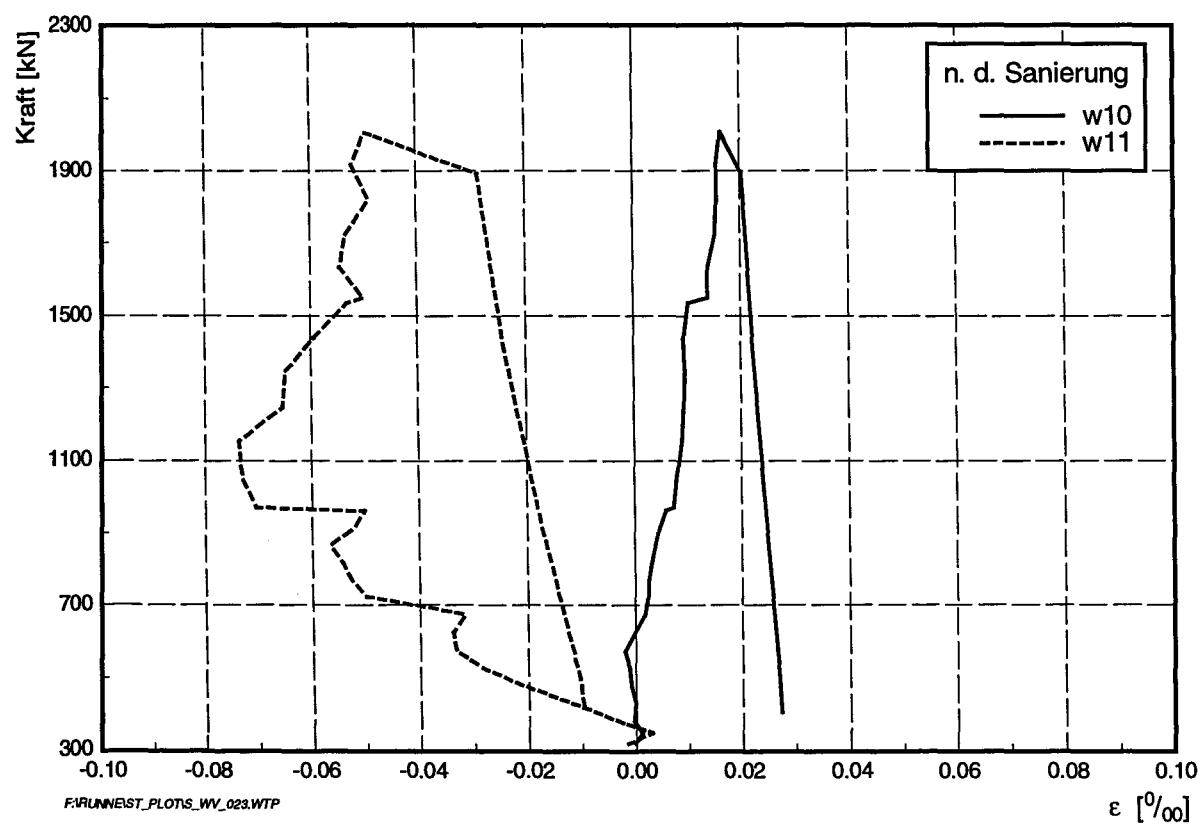
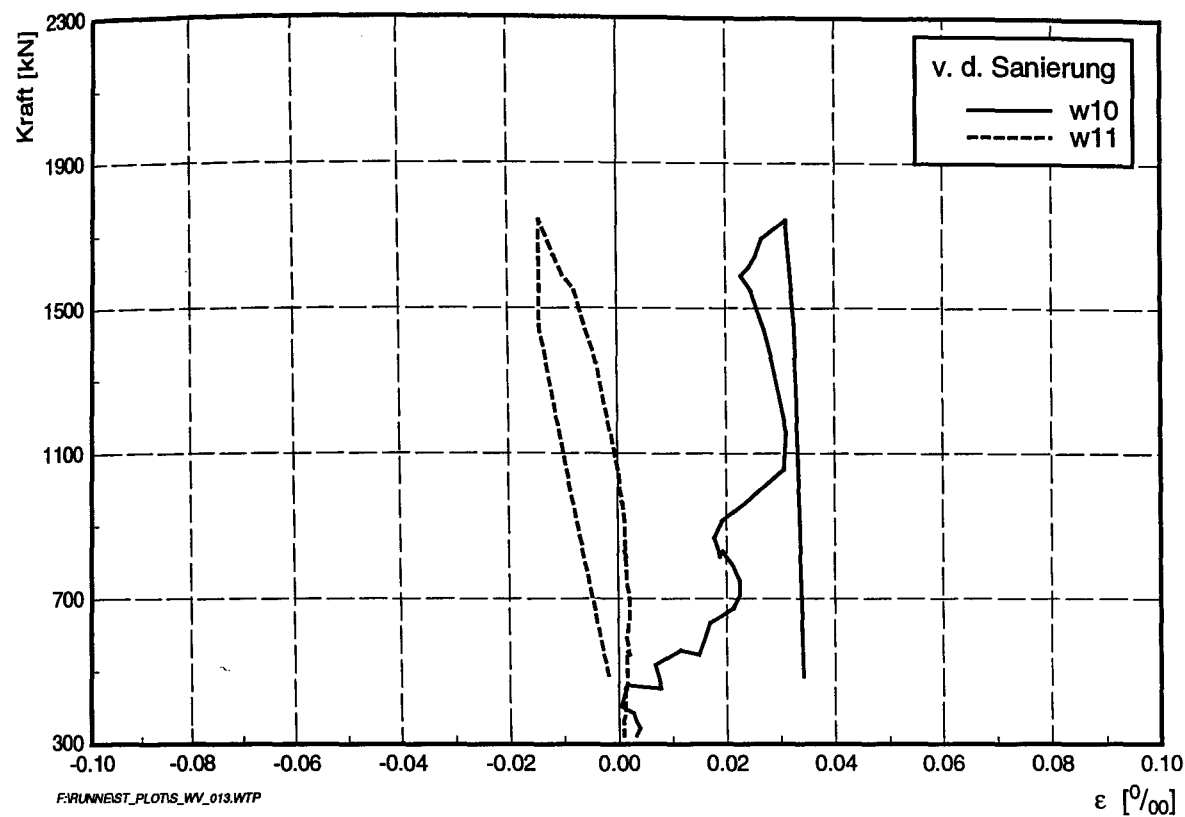


Abb. C.11: Vertikale Dehnung vor und nach der Sanierung auf der Wand (Ebene 3)

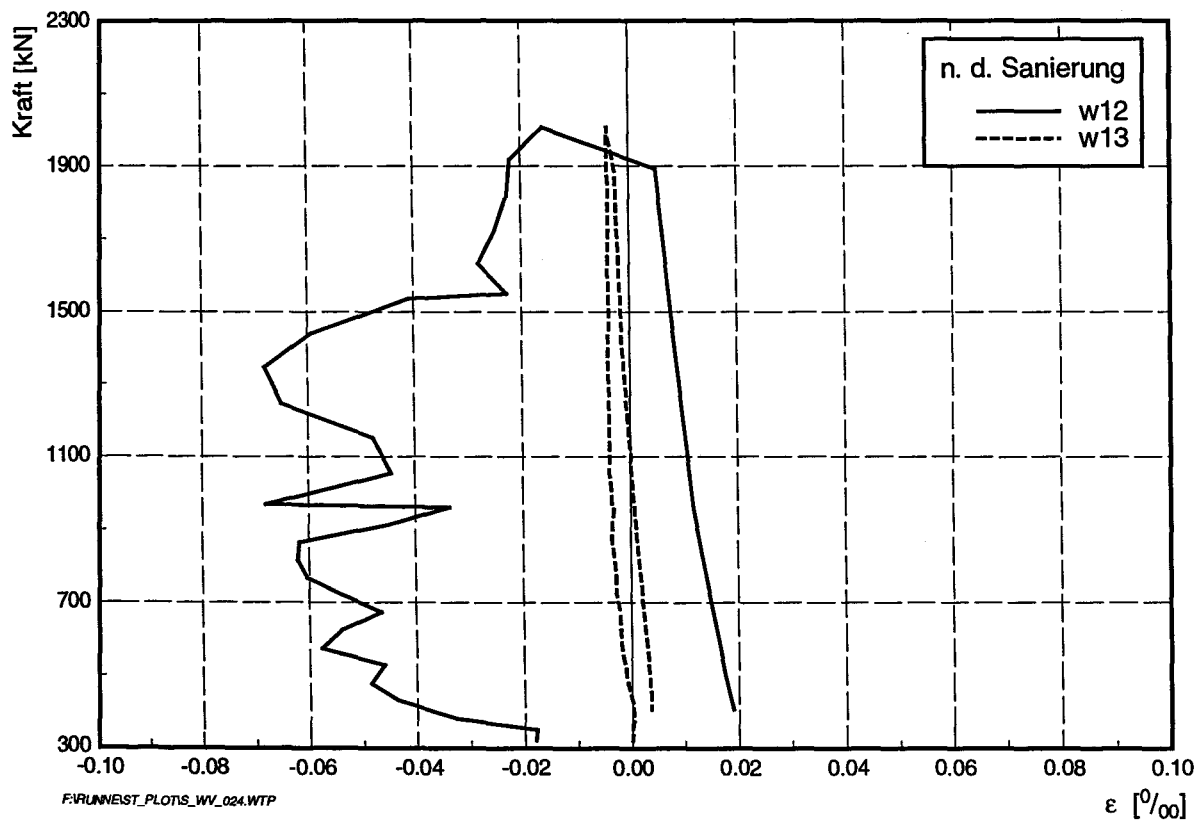
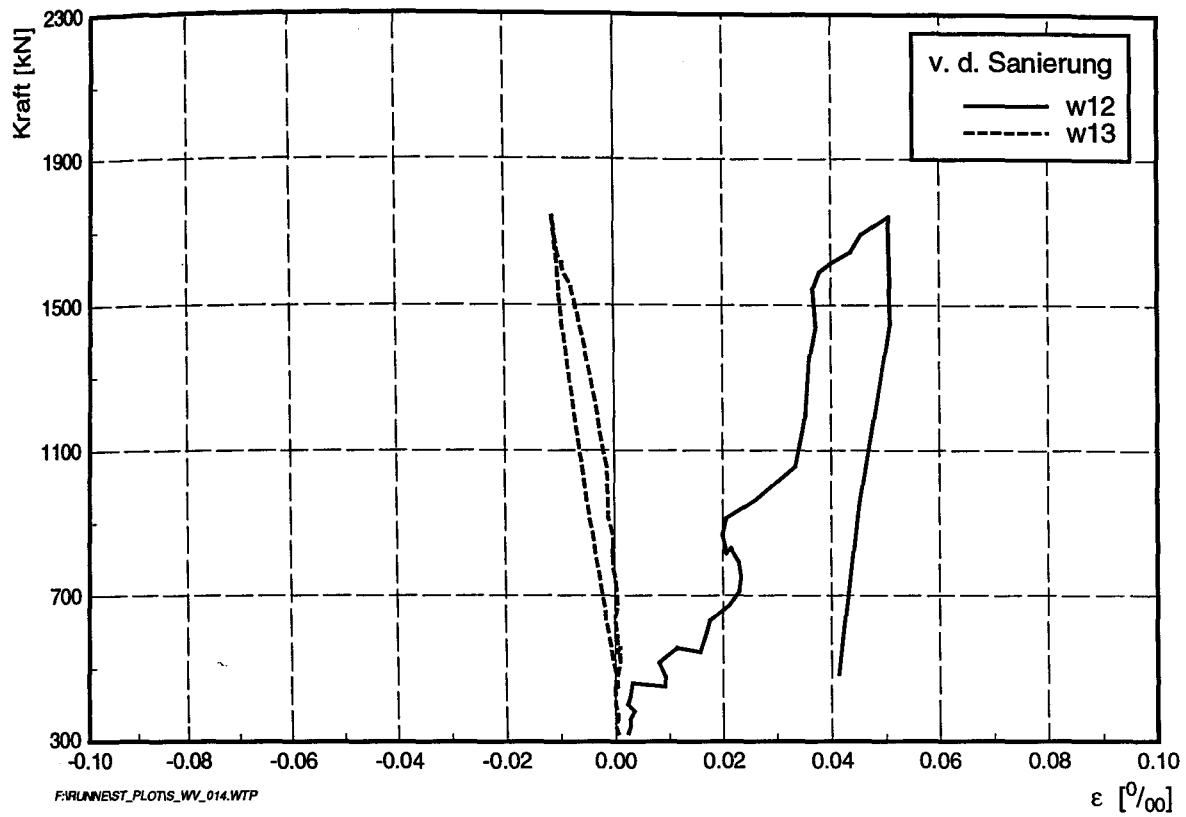


Abb. C.12: Vertikale Dehnung vor und nach der Sanierung auf der Wand (Ebene 4)

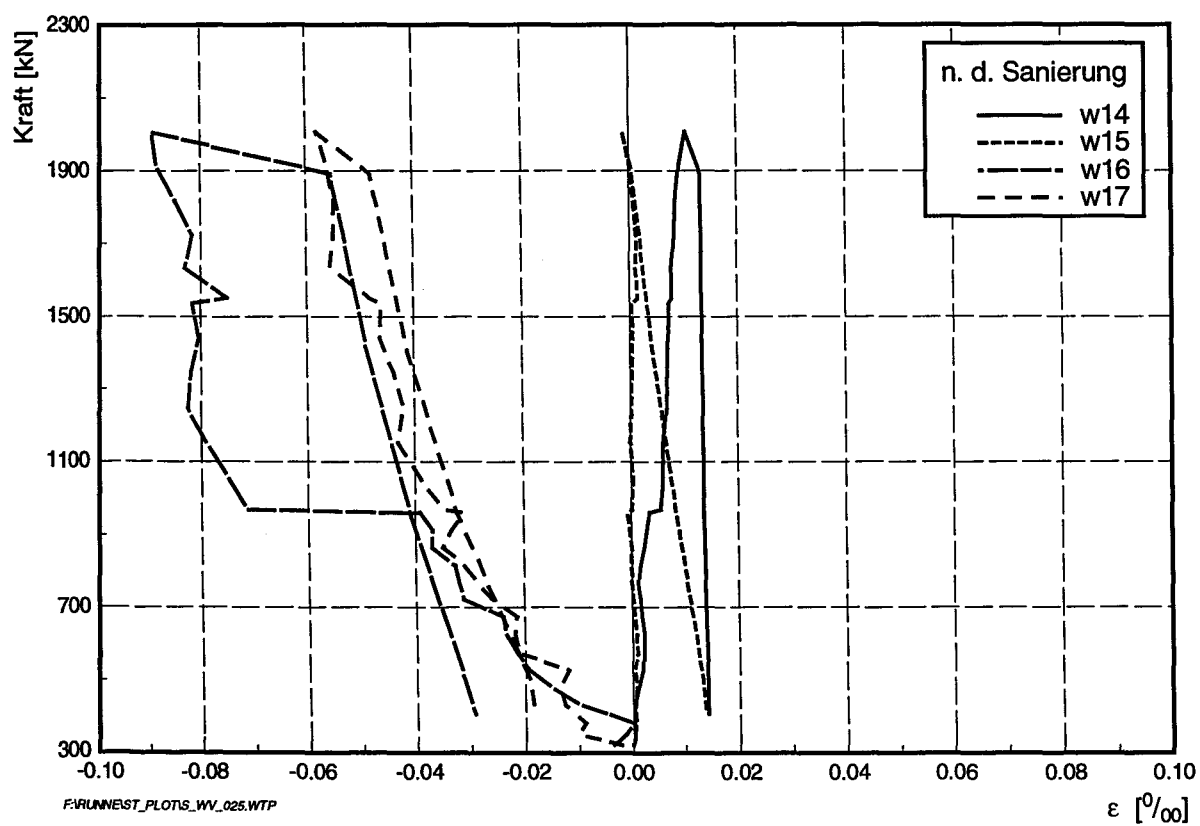
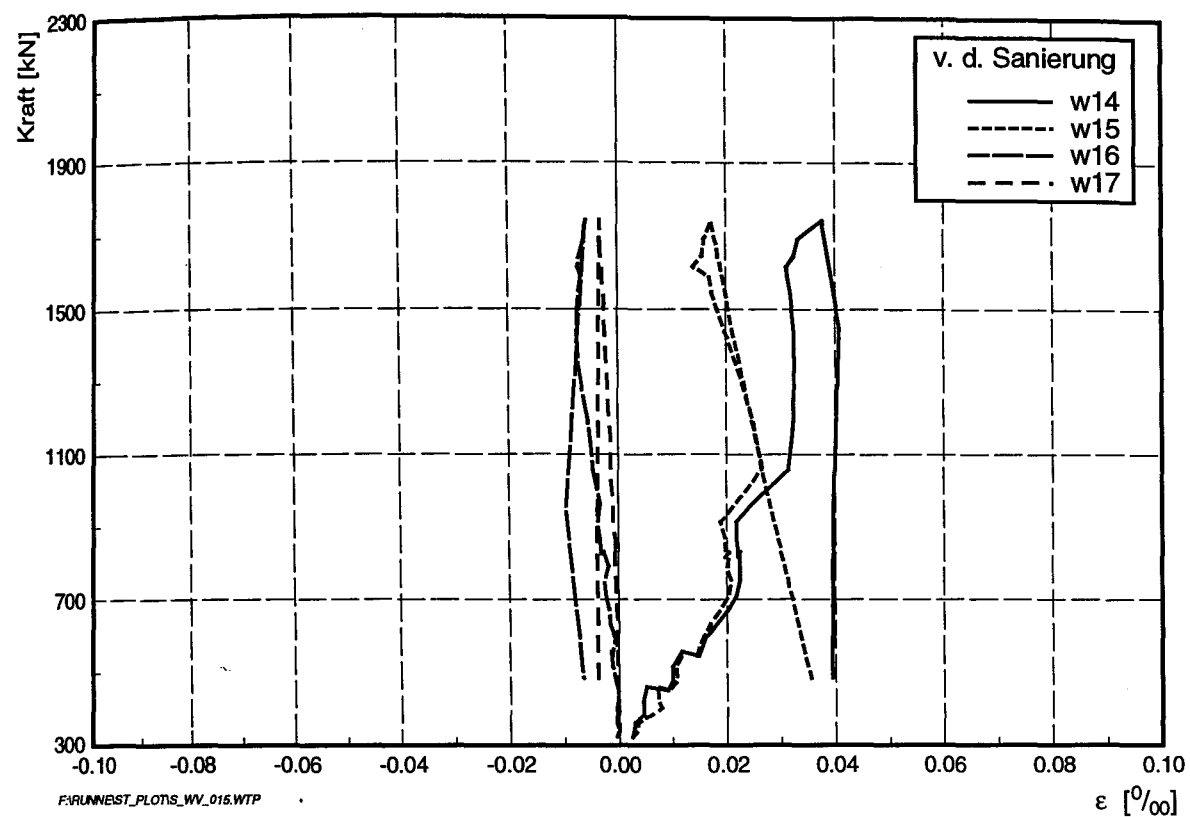


Abb. C.13: Vertikale Dehnung vor und nach der Sanierung auf der Wand (Ebene 5)

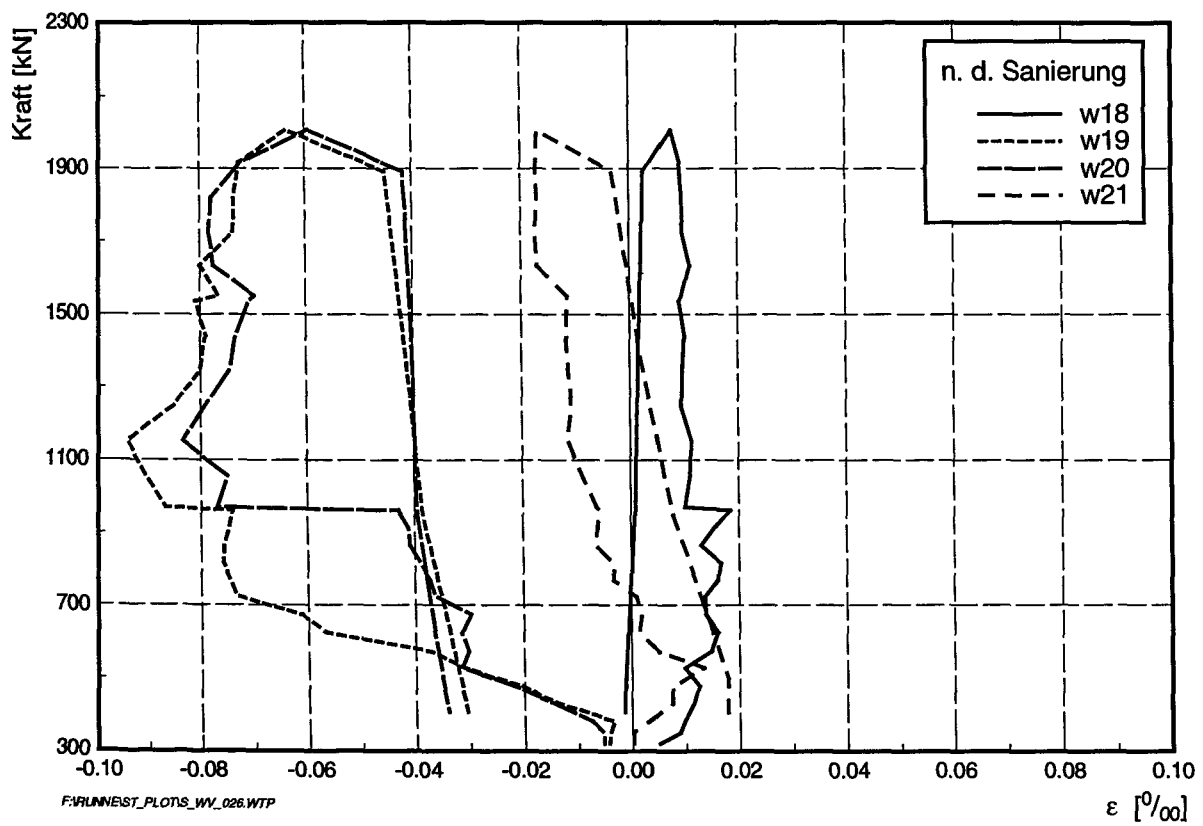
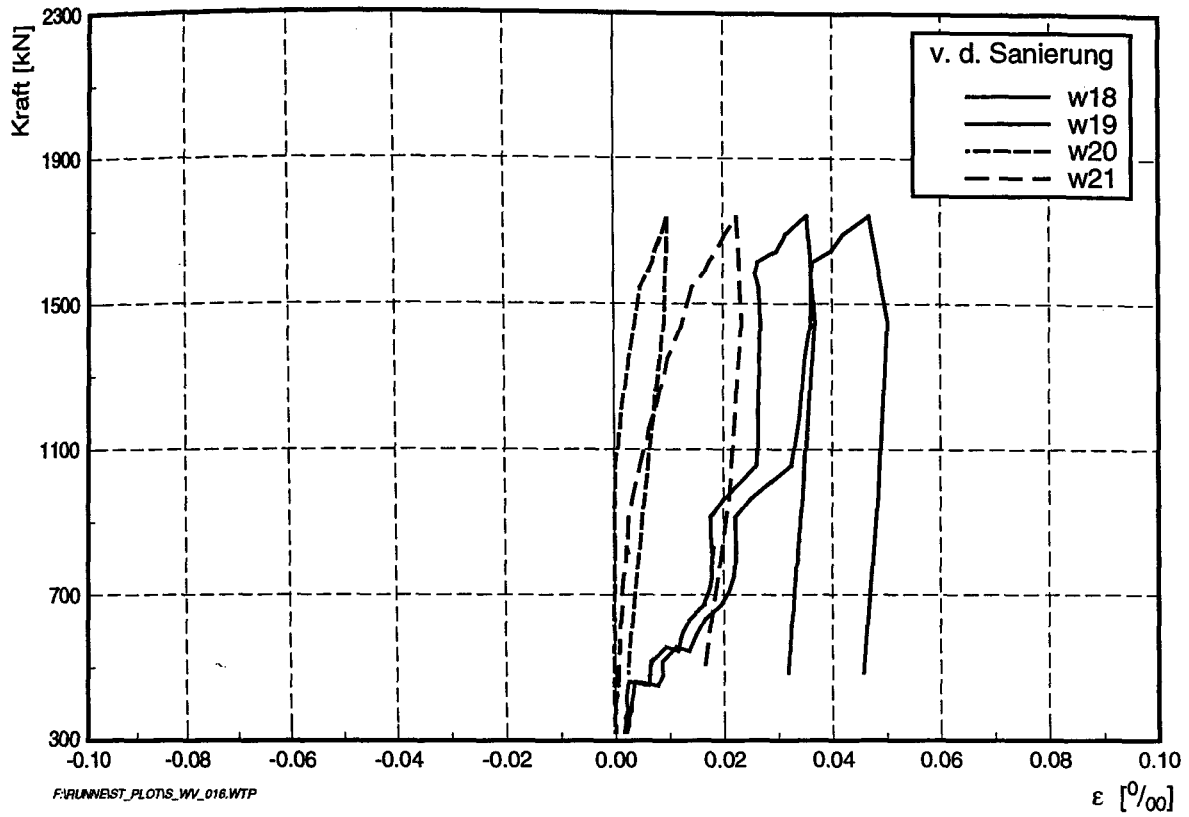


Abb. C.14: Vertikale Dehnung vor und nach der Sanierung auf der Wand (Ebene 6)

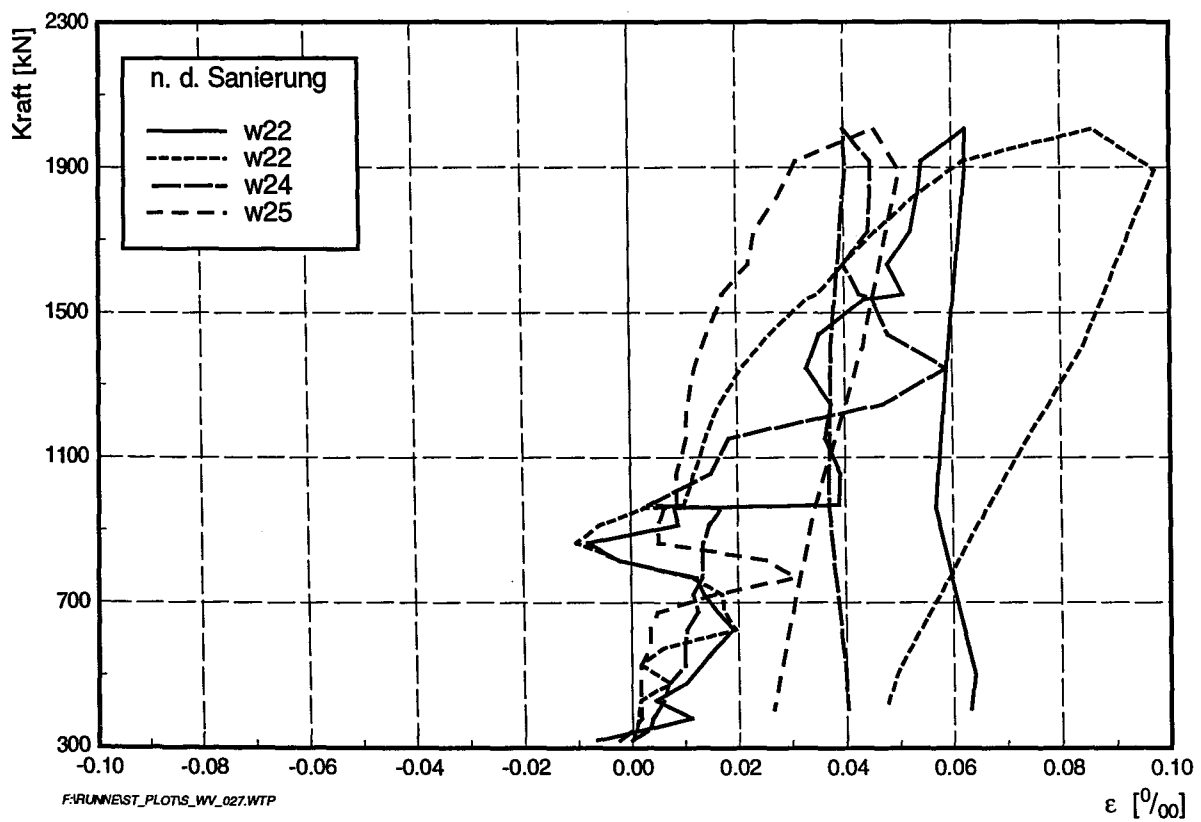
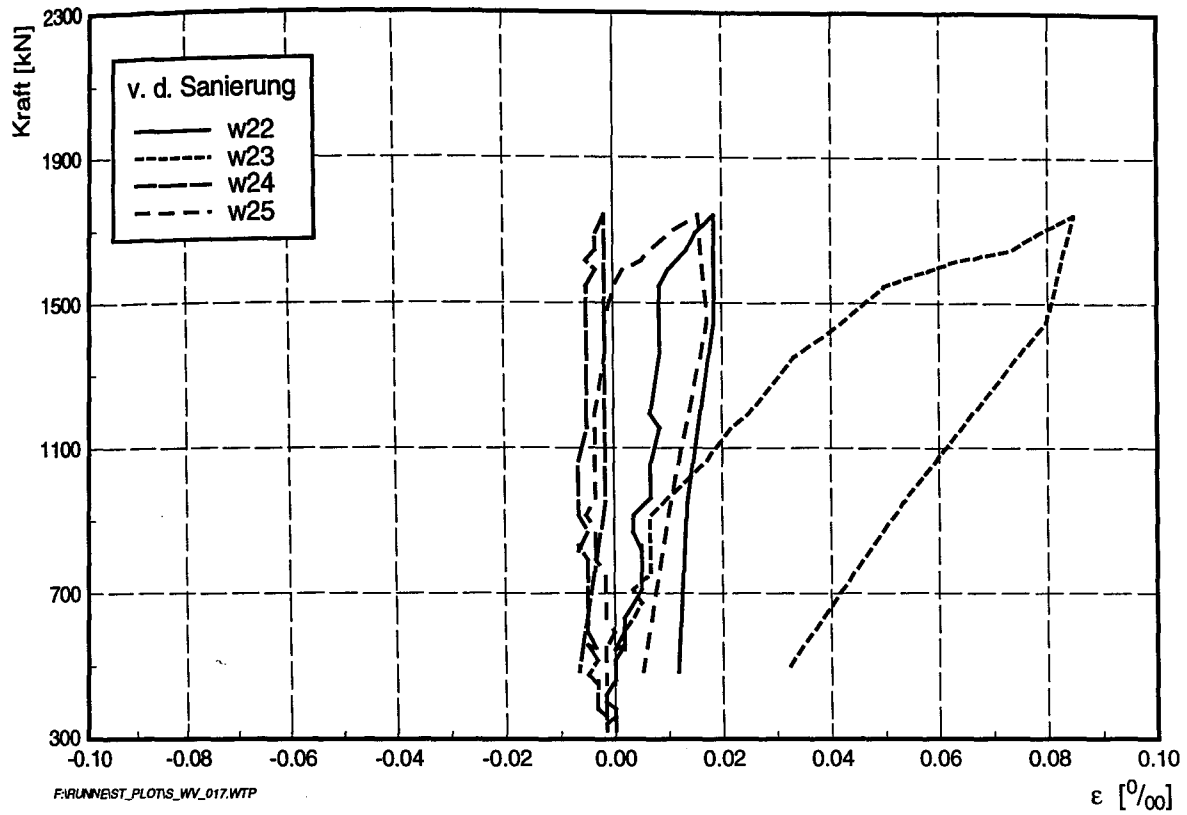


Abb. C.15: Vertikale Dehnung vor und nach der Sanierung auf der Wand (Ebene 7)

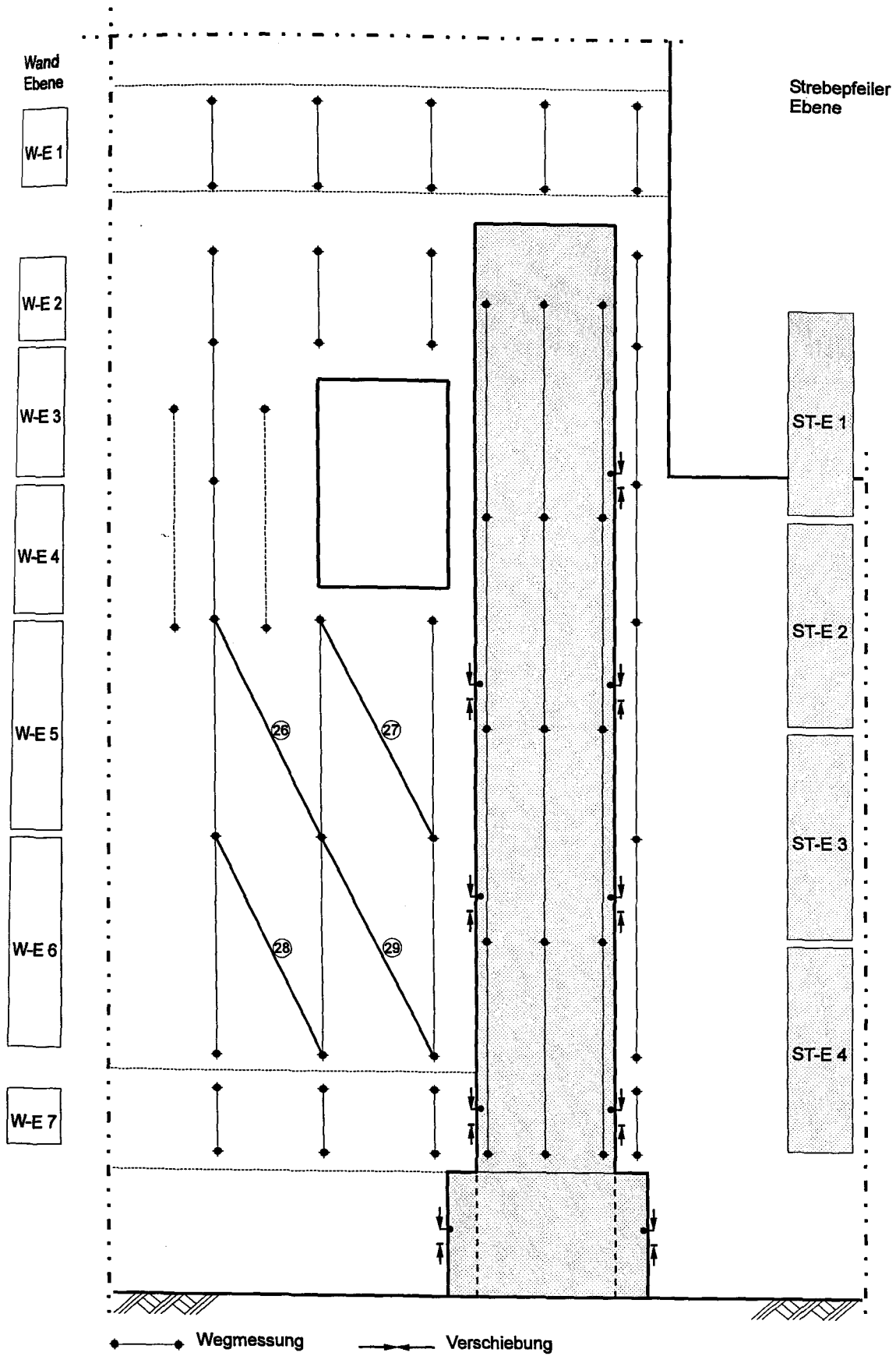


Abb. C.16: Übersicht der Meßstellen (Wand diagonal)

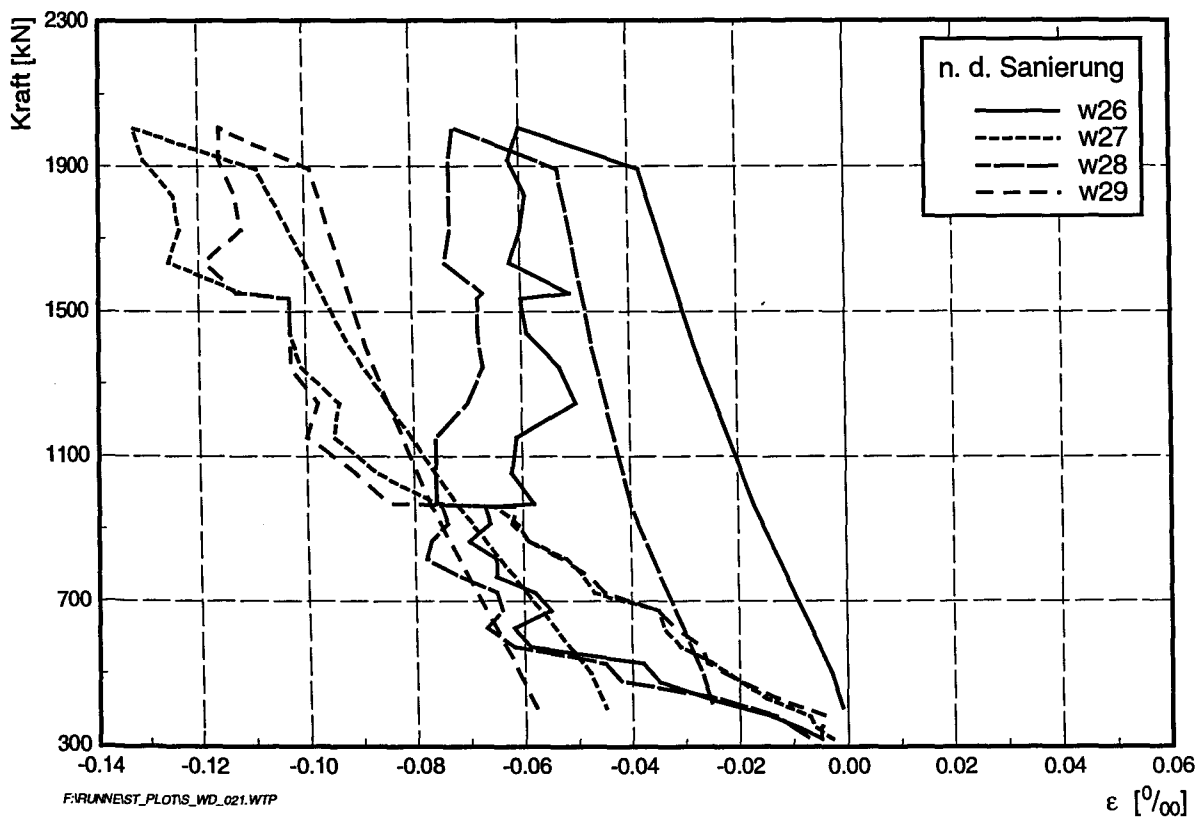
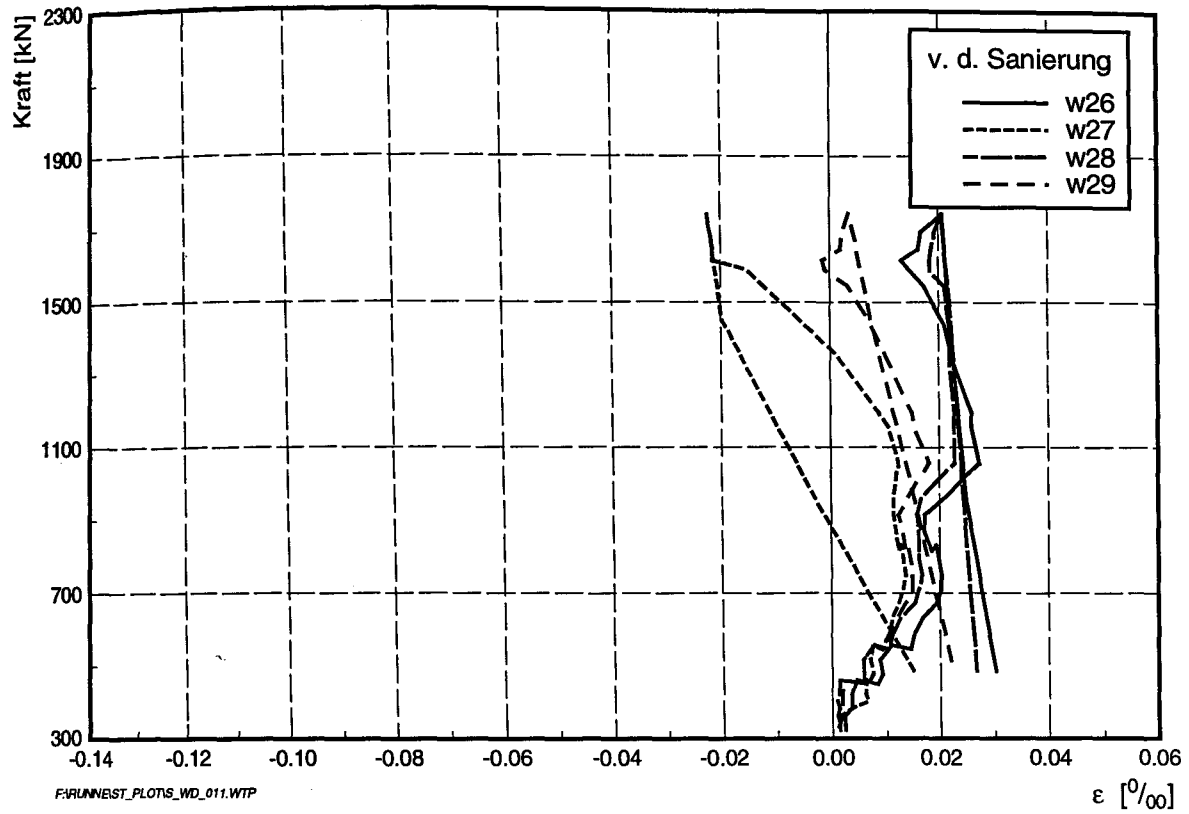


Abb. C.17: Diagonale Dehnung vor und nach der Sanierung auf der Wand (Ebene 4+5)

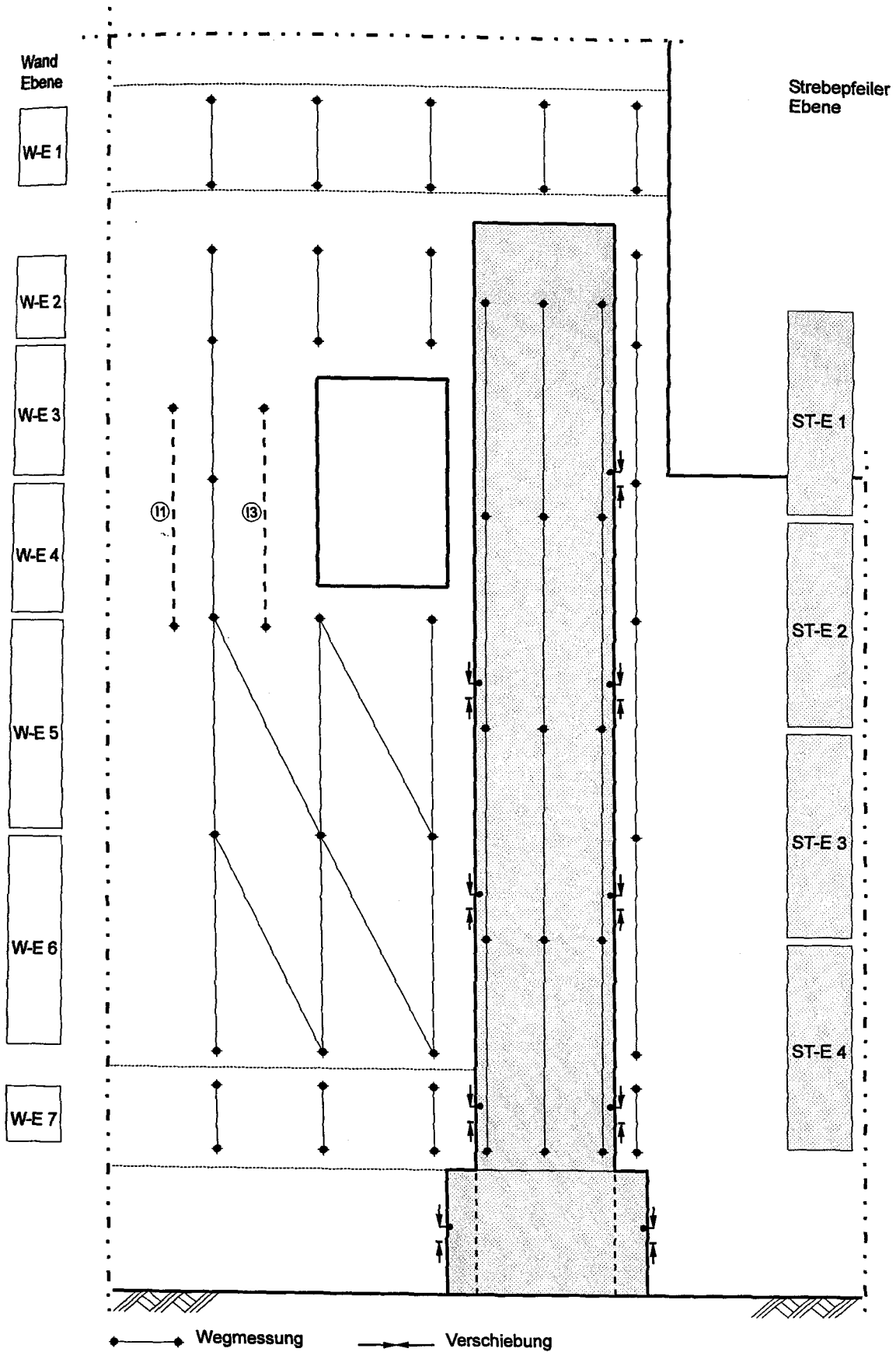


Abb. C.18: Übersicht der Meßstellen auf der Wandinnenseite

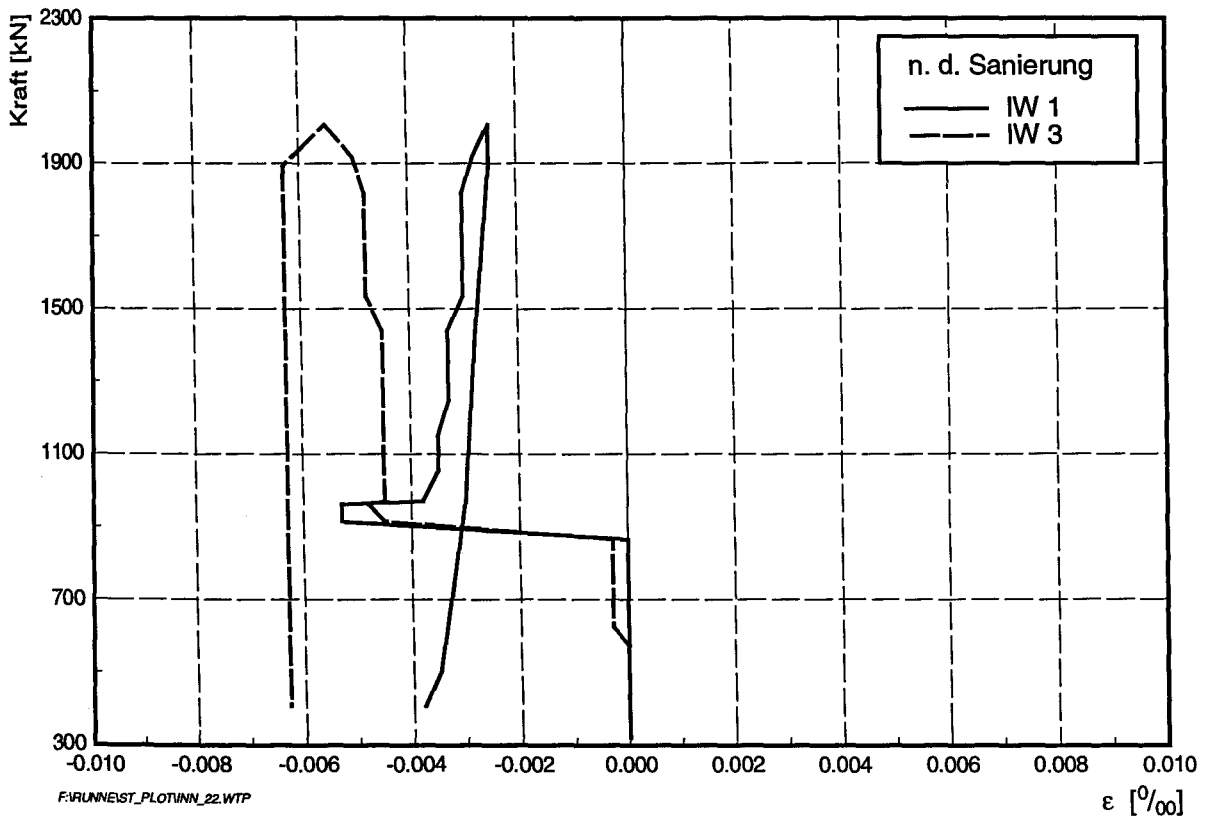
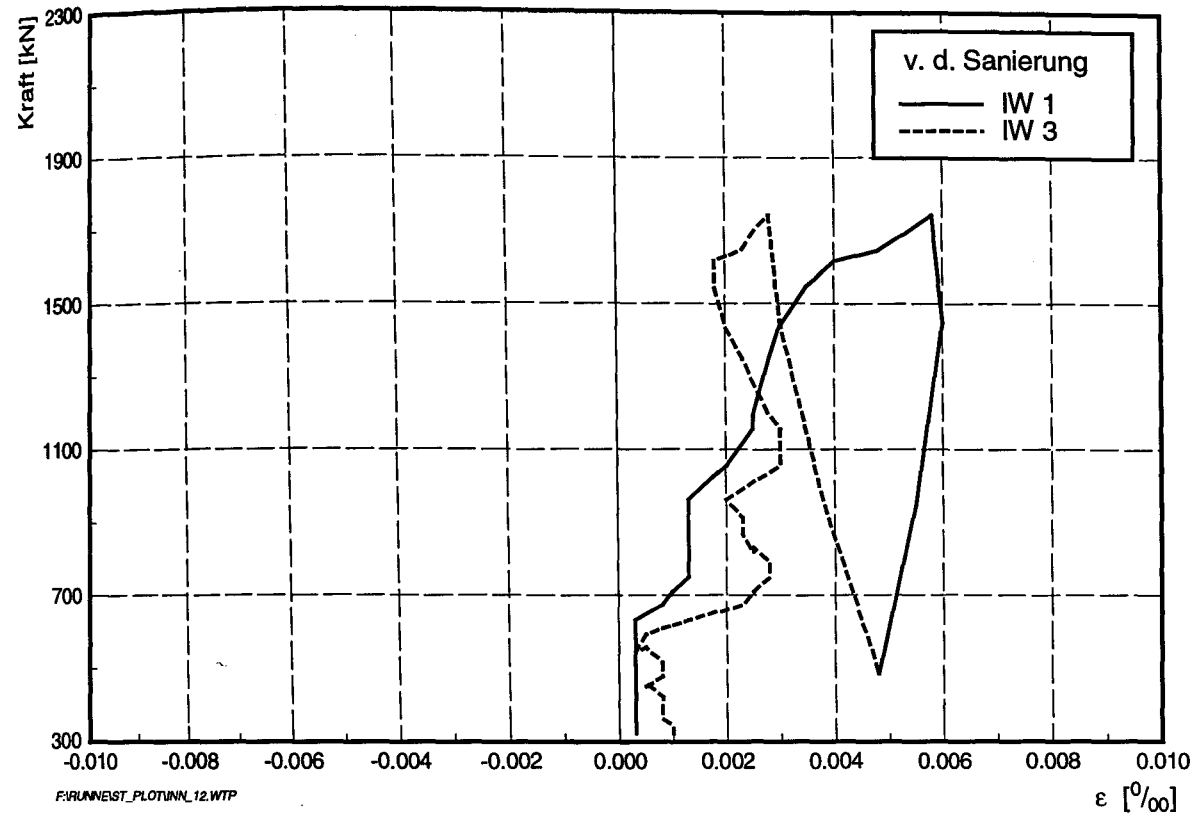


Abb. C.19: Dehnungen auf der Wandinnenseite

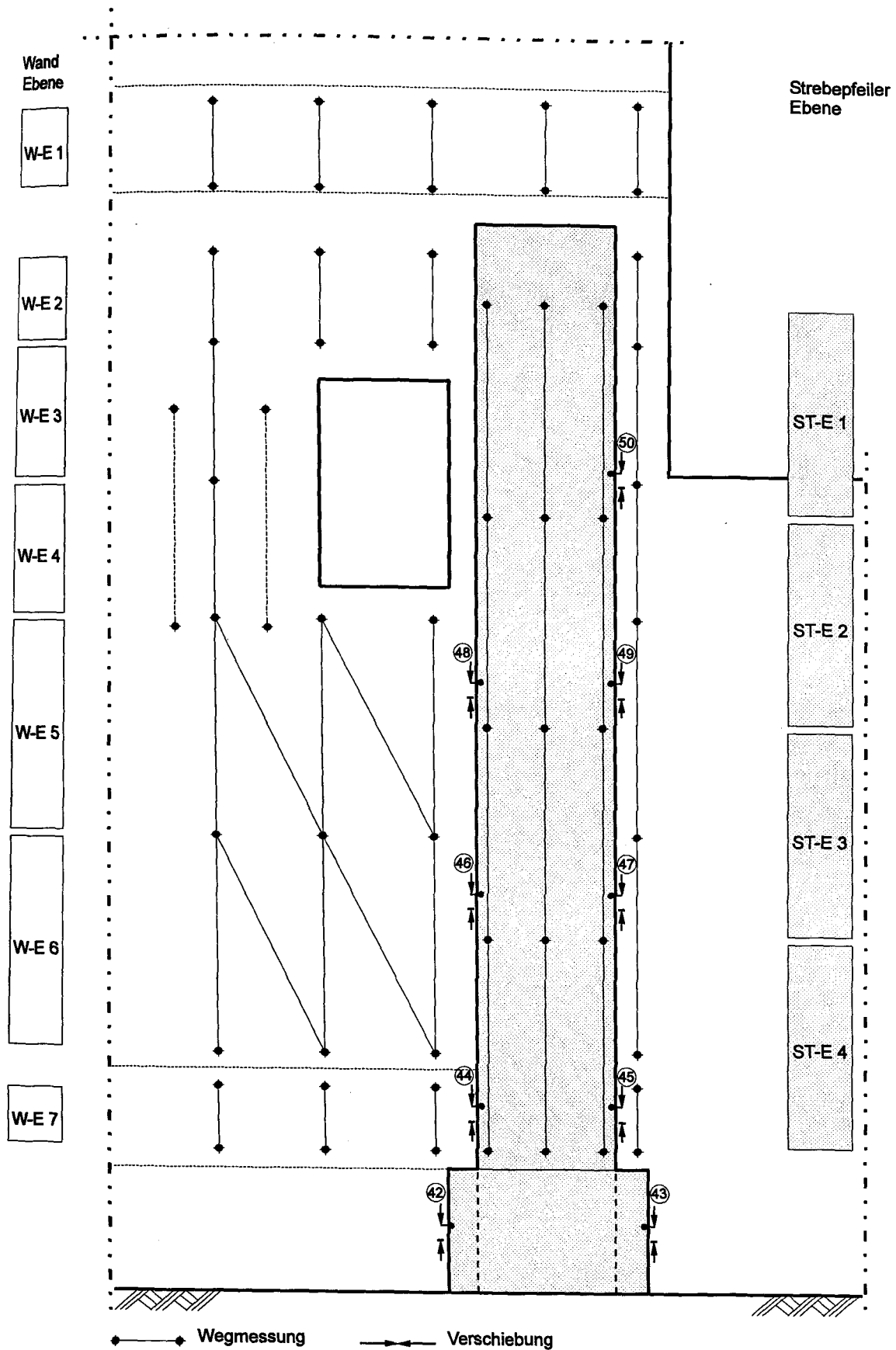


Abb. C.20: Übersicht der Meßstellen (Verschiebung: Wand/Strebepfeiler)

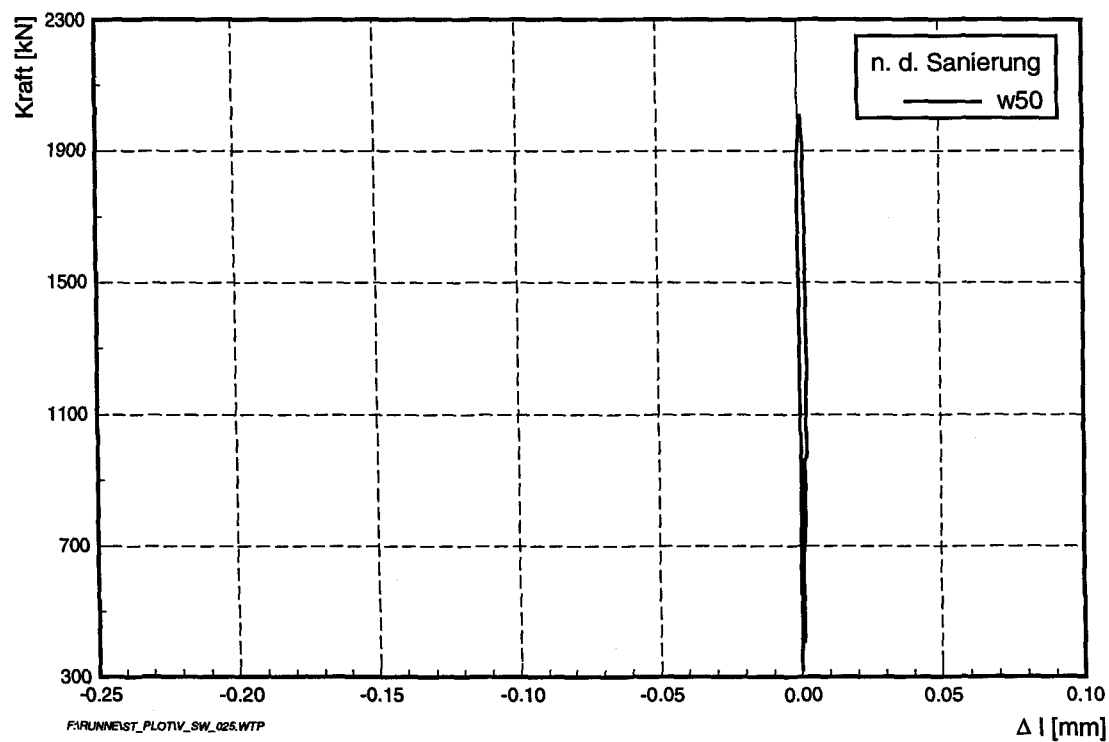
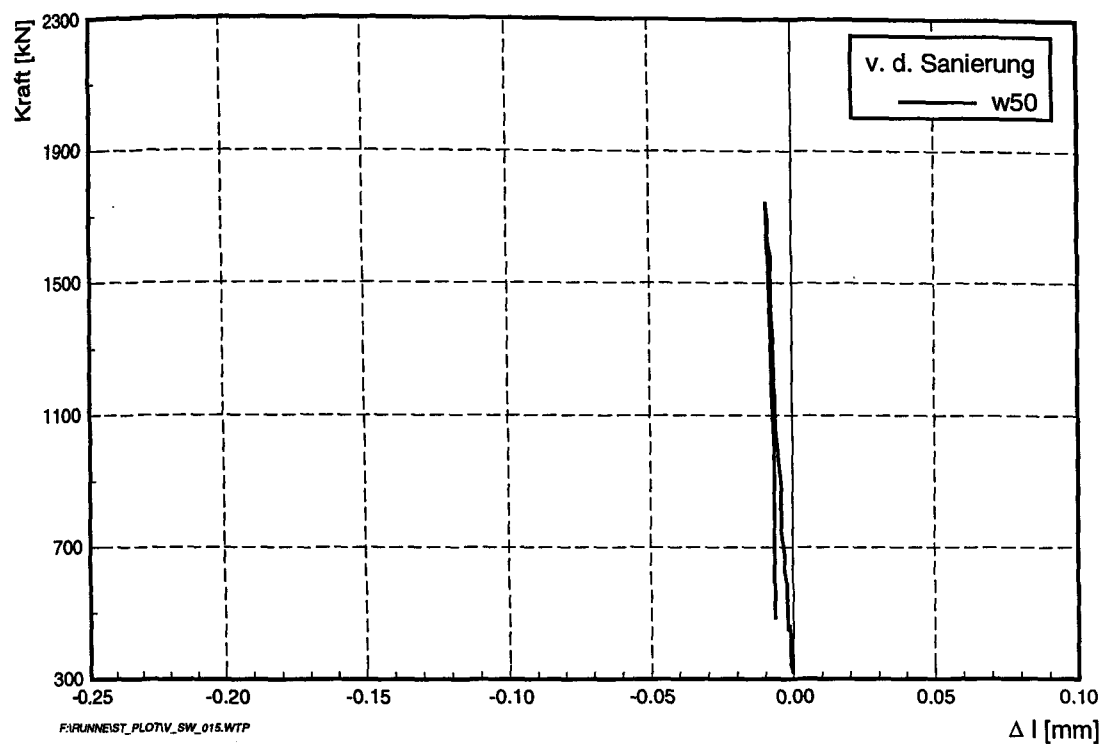


Abb. C.21: Verschiebung zwischen Wand und Strebepfeiler vor und nach der Sanierung (Strebepfeiler-Ebene 1)

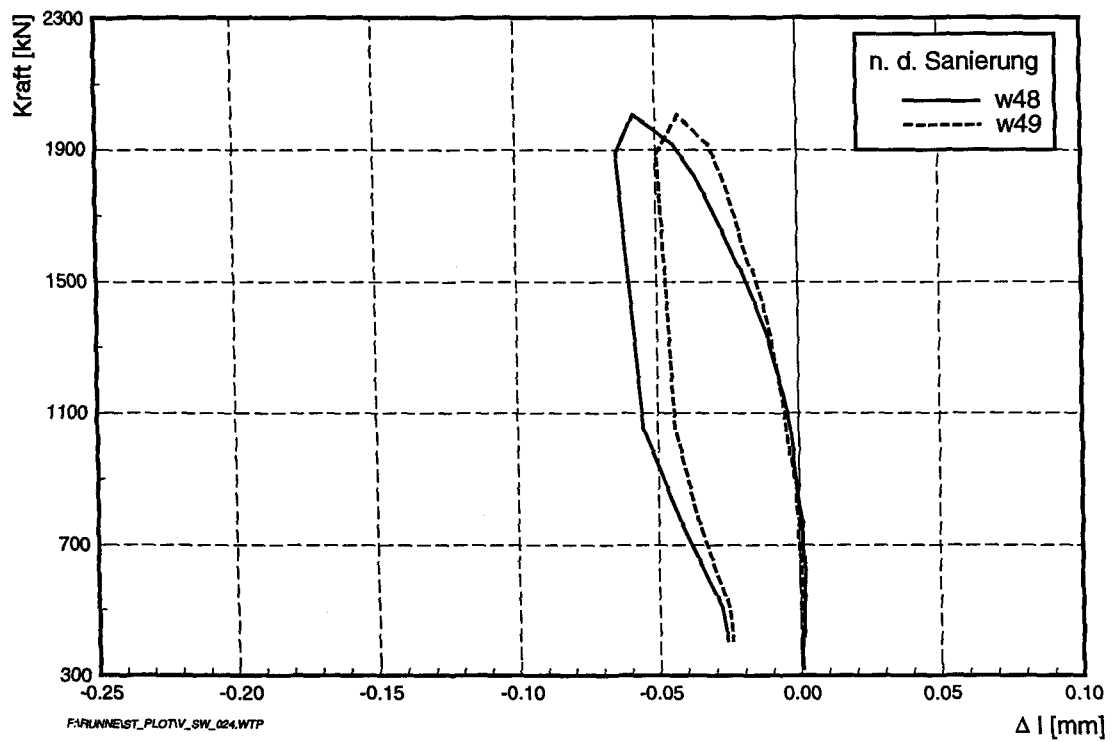
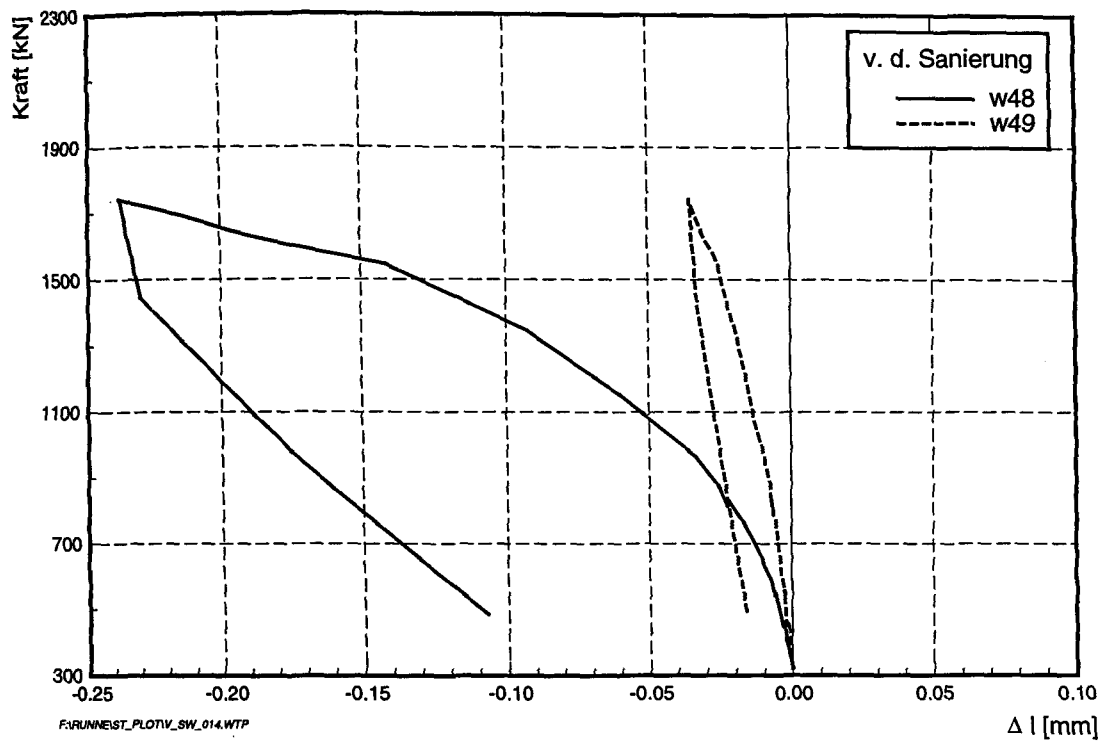


Abb. C.22: Verschiebung zwischen Wand und Strebepfeiler vor und nach der Sanierung (Strebepfeiler-Ebene 2)

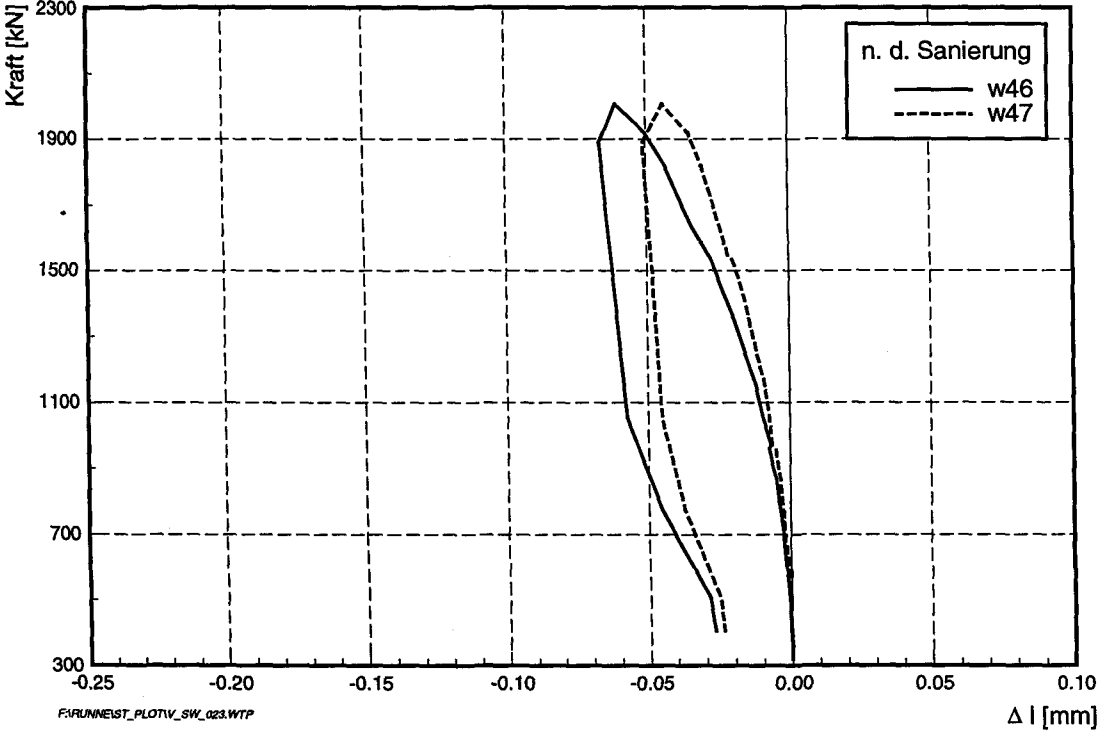
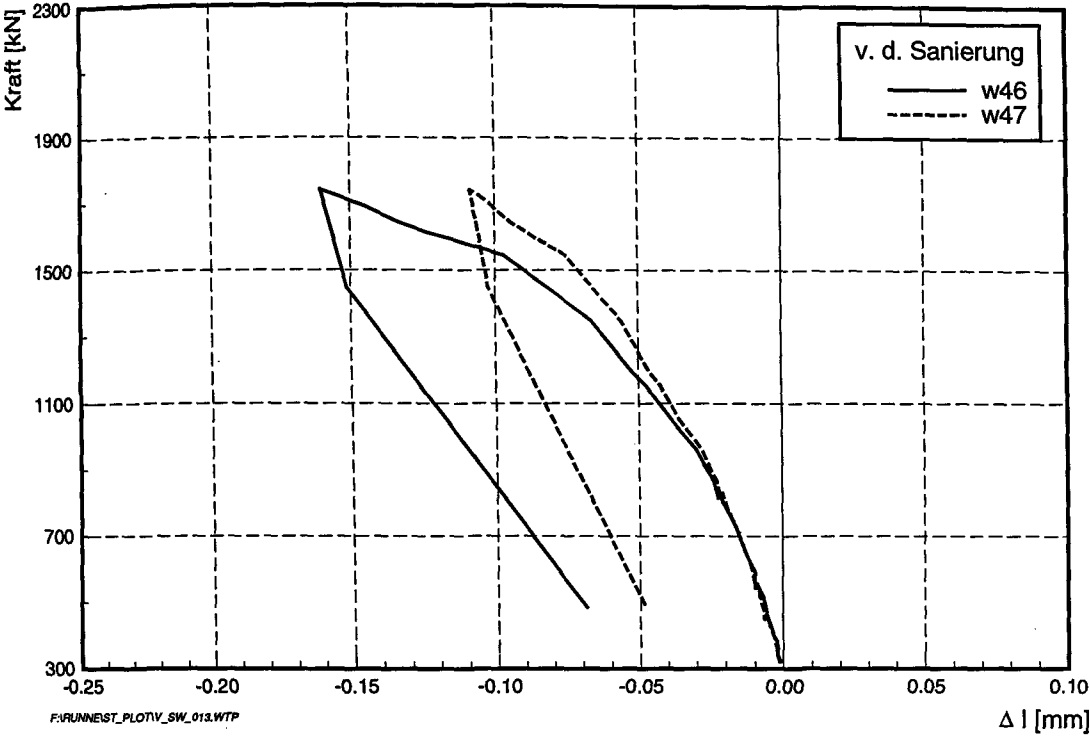


Abb. C.23: Verschiebung zwischen Wand und Strebepfeiler vor und nach der Sanierung (Strebepfeiler-Ebene 3)

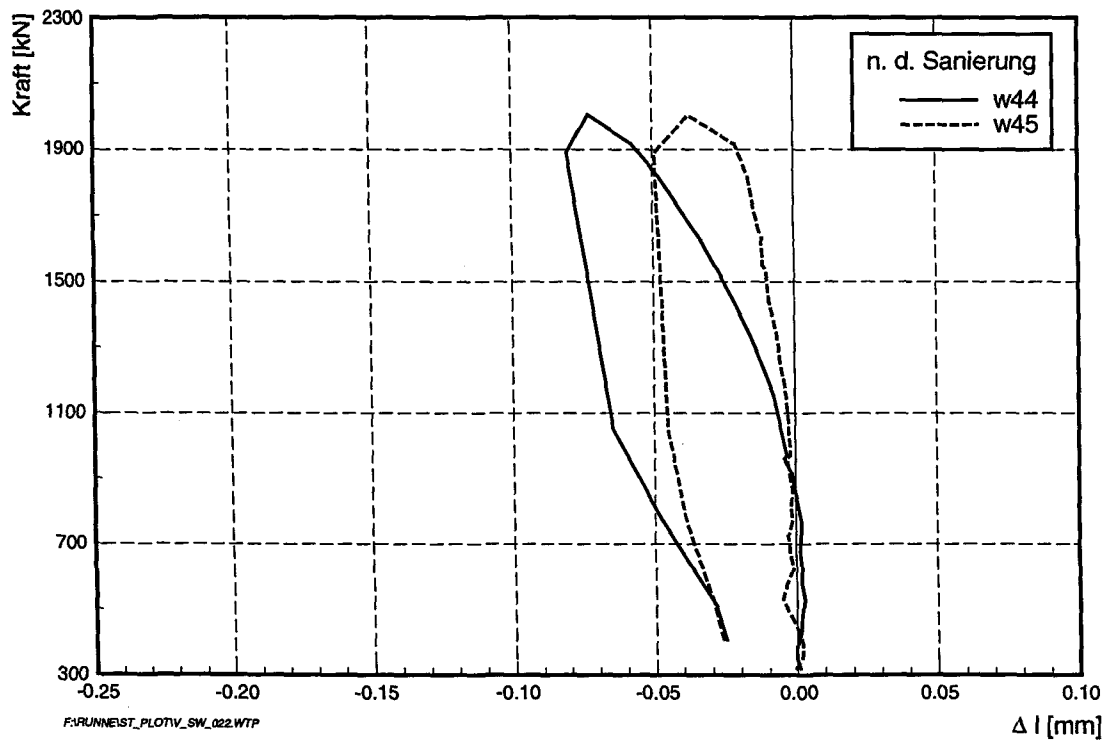
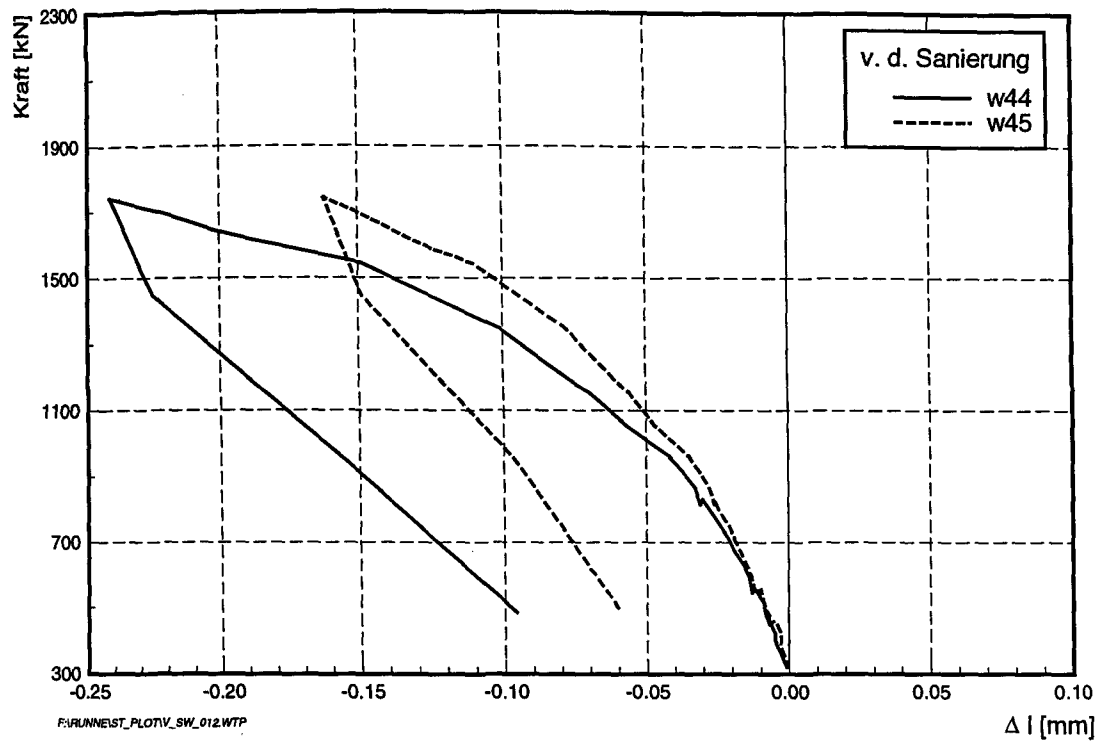


Abb. C.24: Verschiebung zwischen Wand und Strebepfeiler vor und nach der Sanierung (Strebepfeiler-Ebene 4)

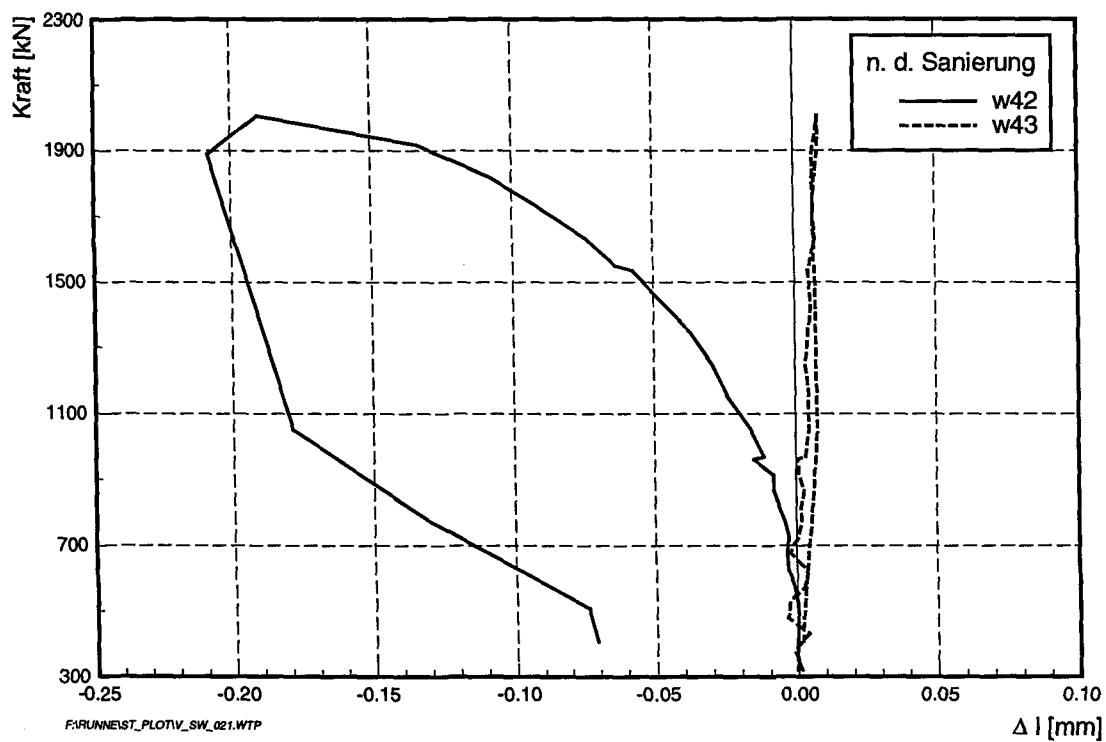
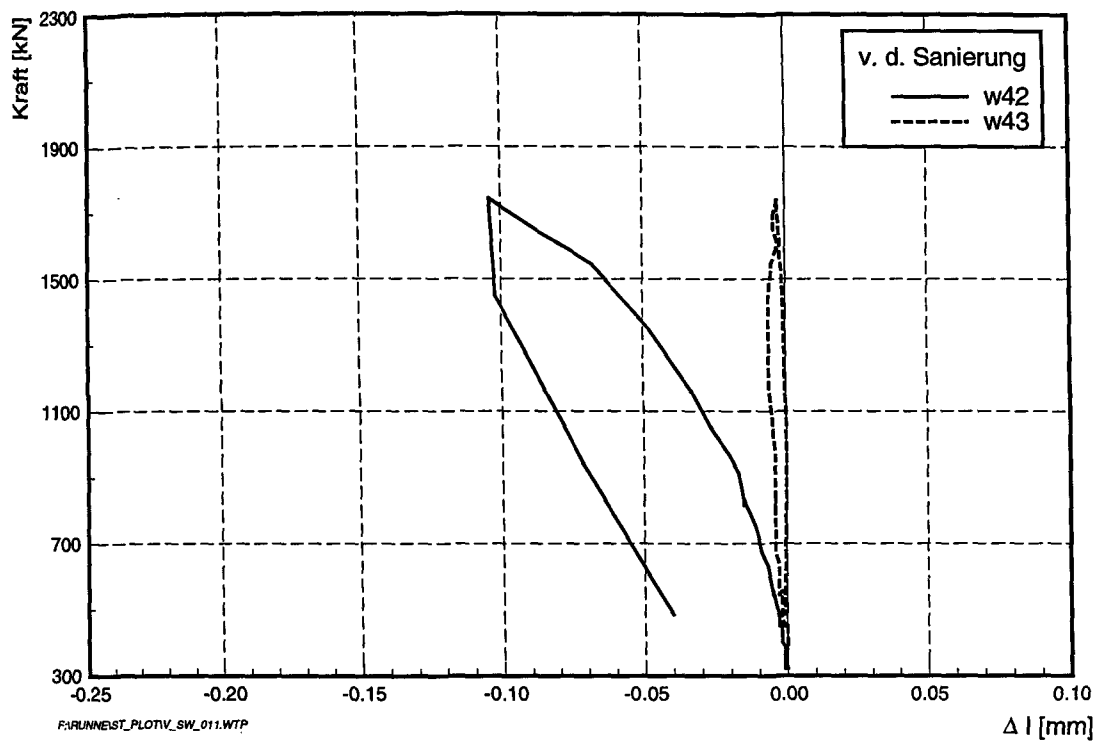


Abb. C.25: Verschiebung zwischen Wand und Stahlbetonkonstruktion vor und nach der Sanierung

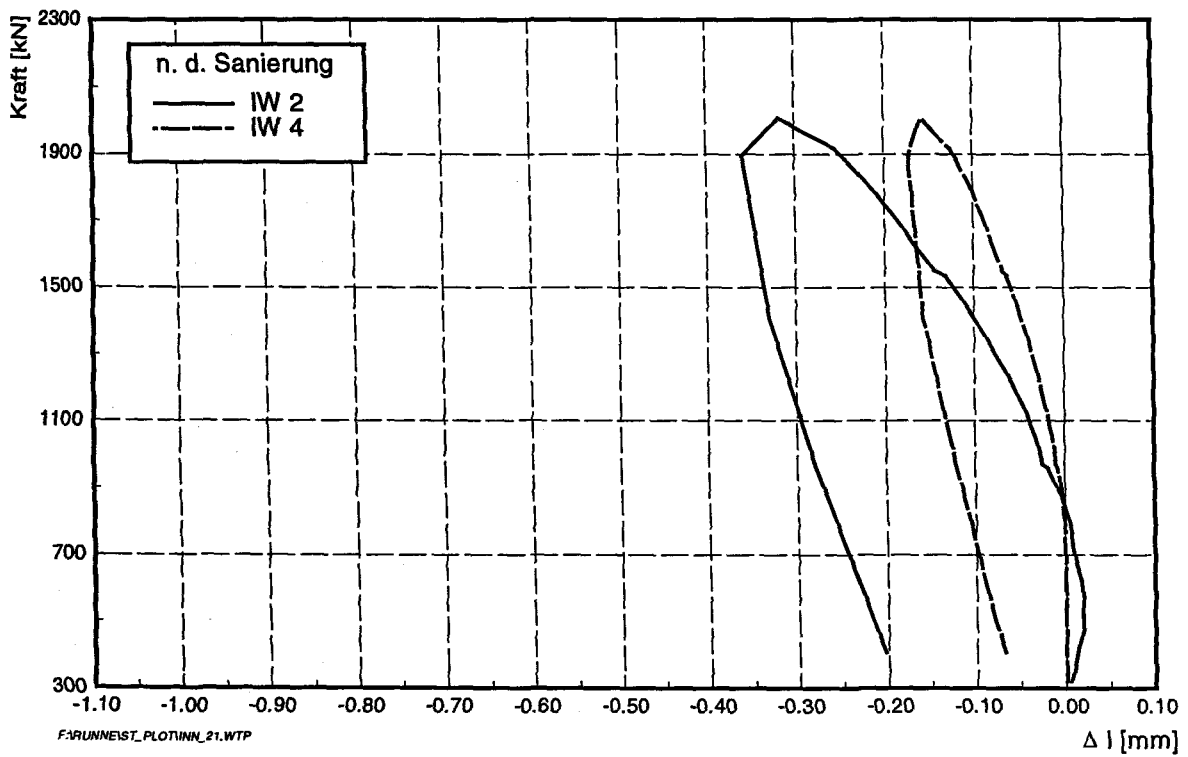
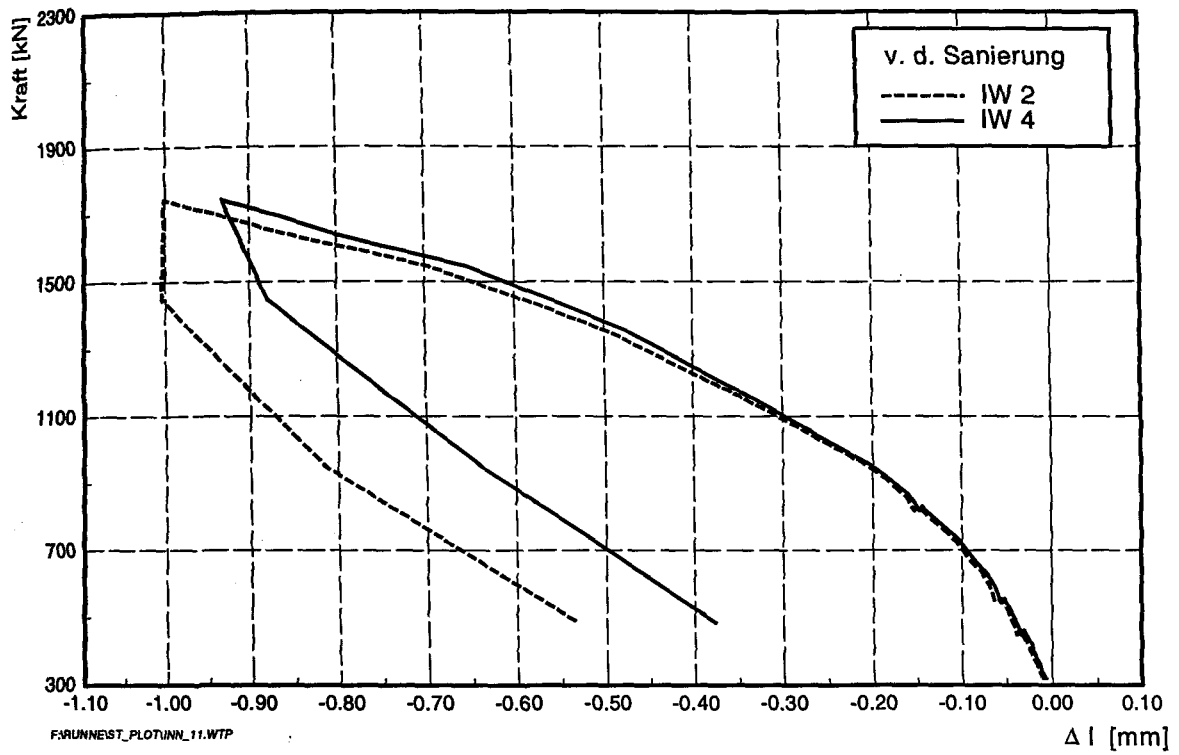


Abb. C.26: Rissbreitenänderung während des Versuchs in Nord-Südrichtung

ANHANG D : NADELANKER

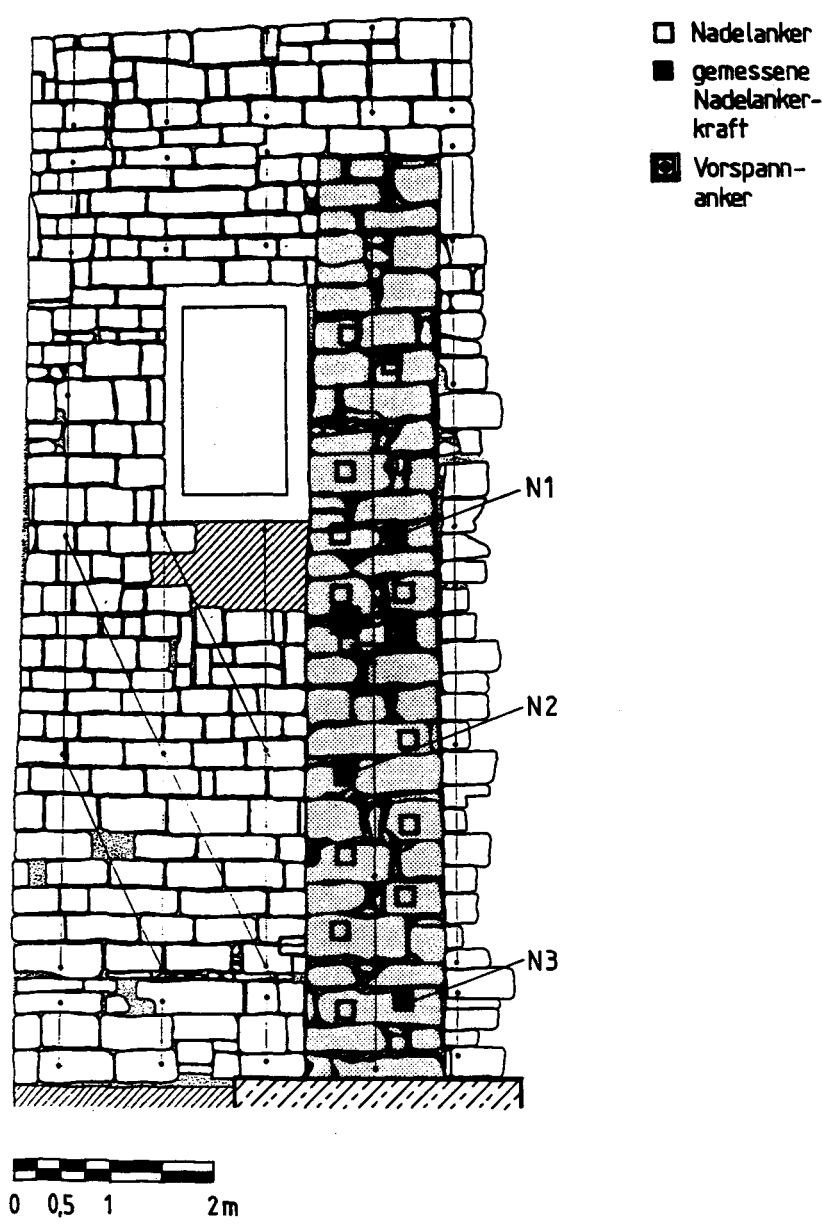


Abb. D.1: Lage der Nadelankermeßstellen

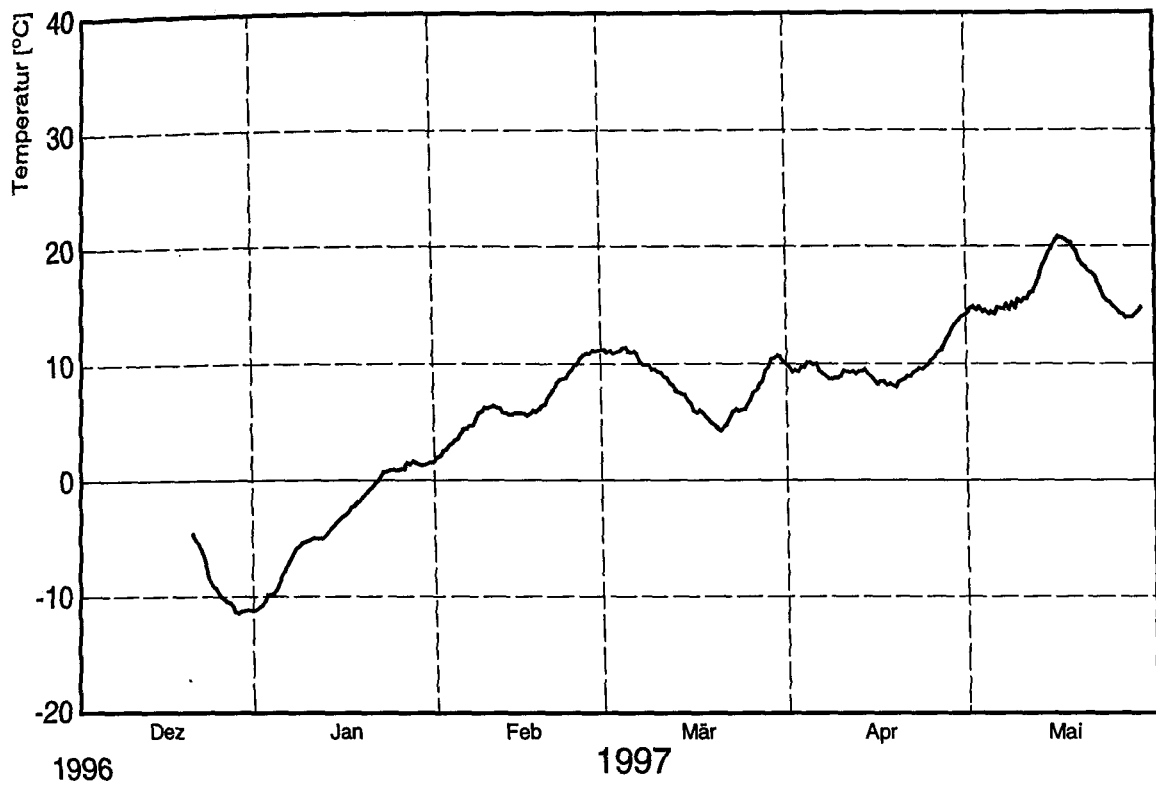


Abb. D.2: Temperaturverlauf am Strebepfeiler (Außen)

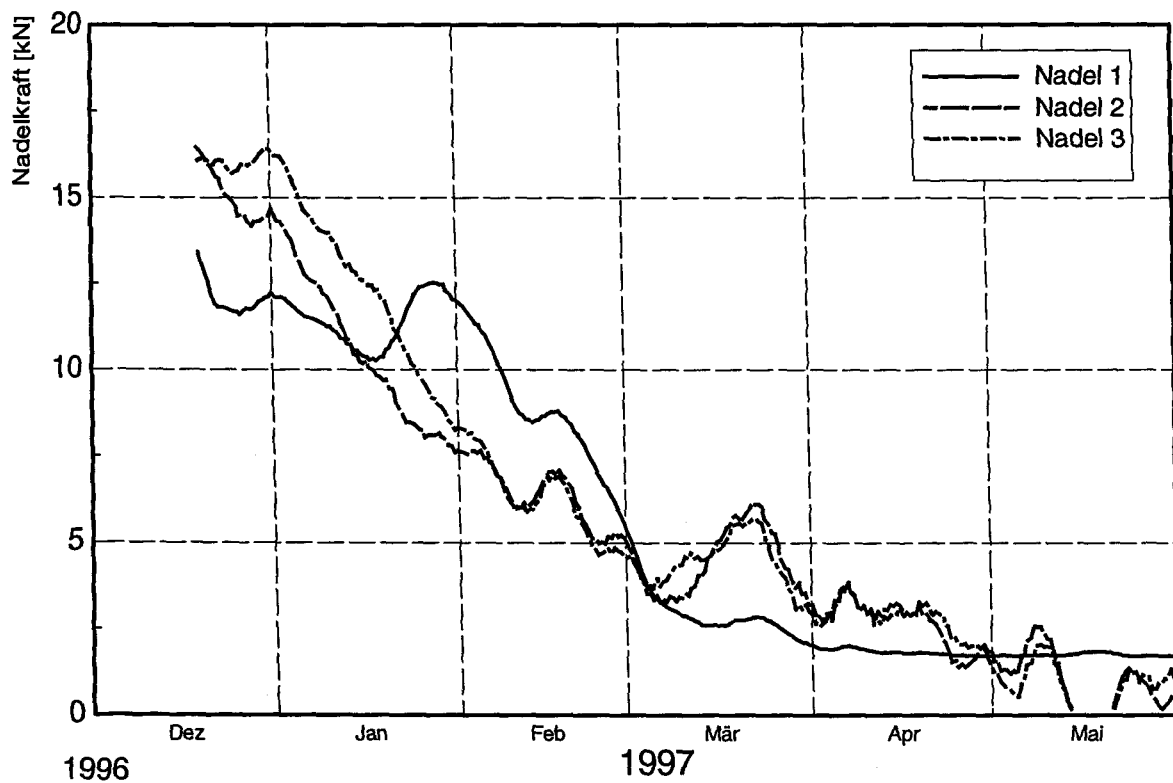


Abb. D.3: Nadelankerkräfte

ANHANG E : KRÄFTE IN DEN BOHRPFÄHLEN

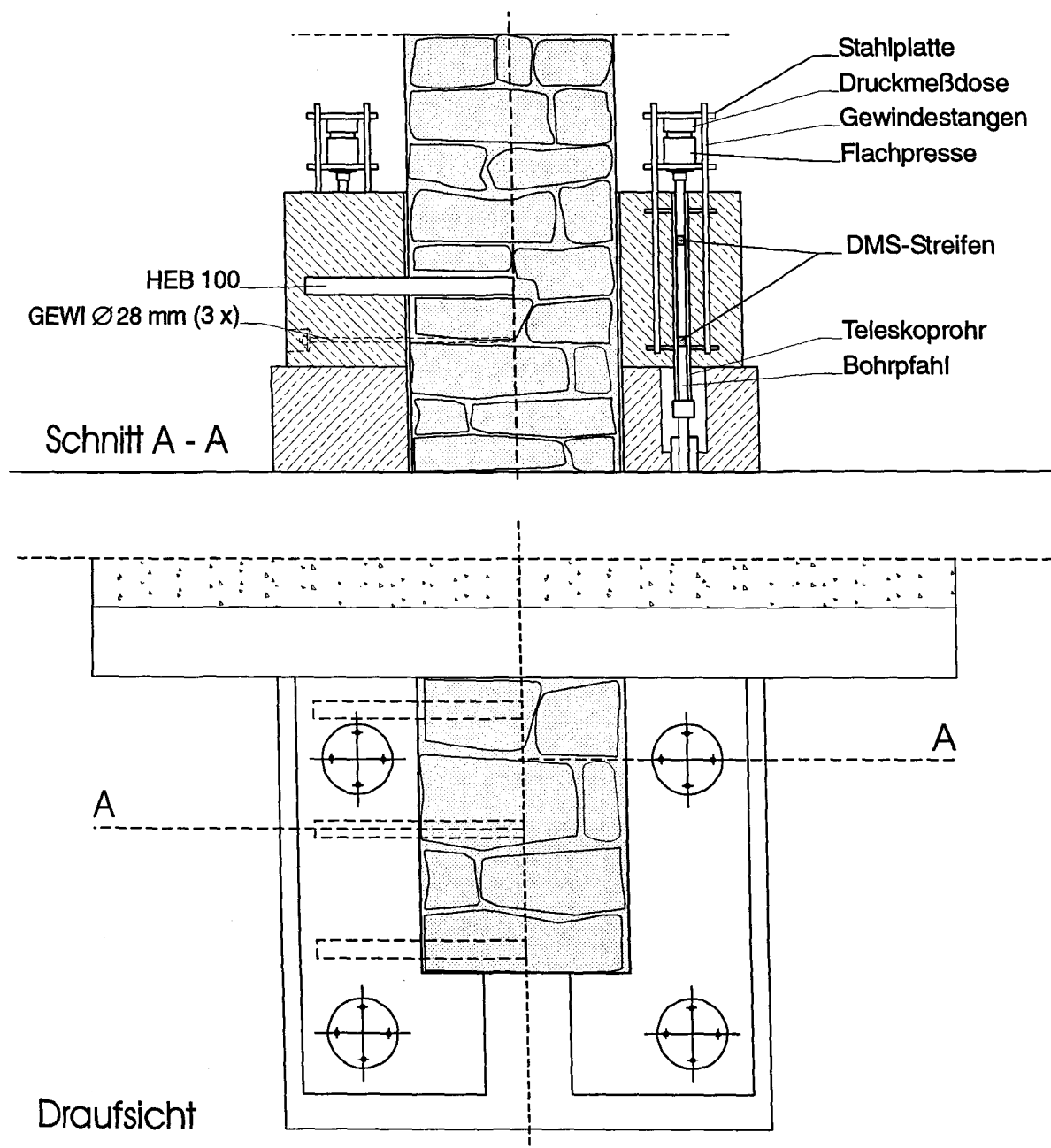


Abb. E.1: DMS-Streifen an den Bohrpfehlen

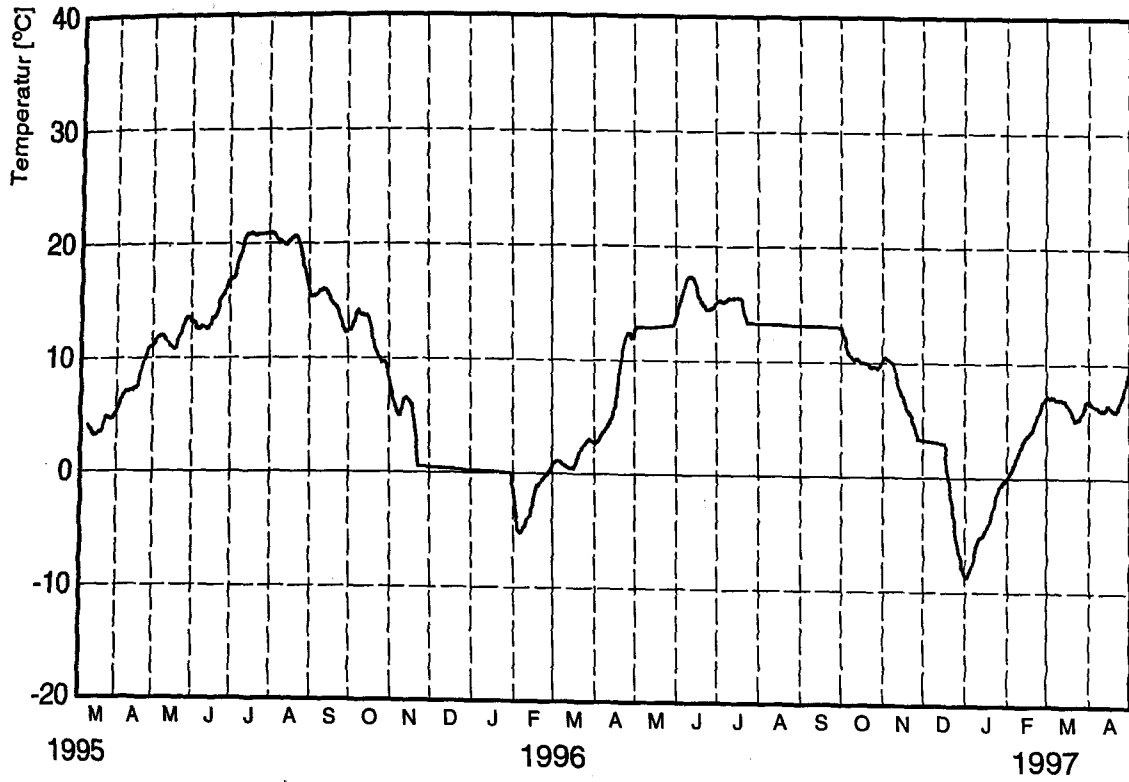


Abb. E.2: Temperaturverlauf im Bereich des Strebepfeilers

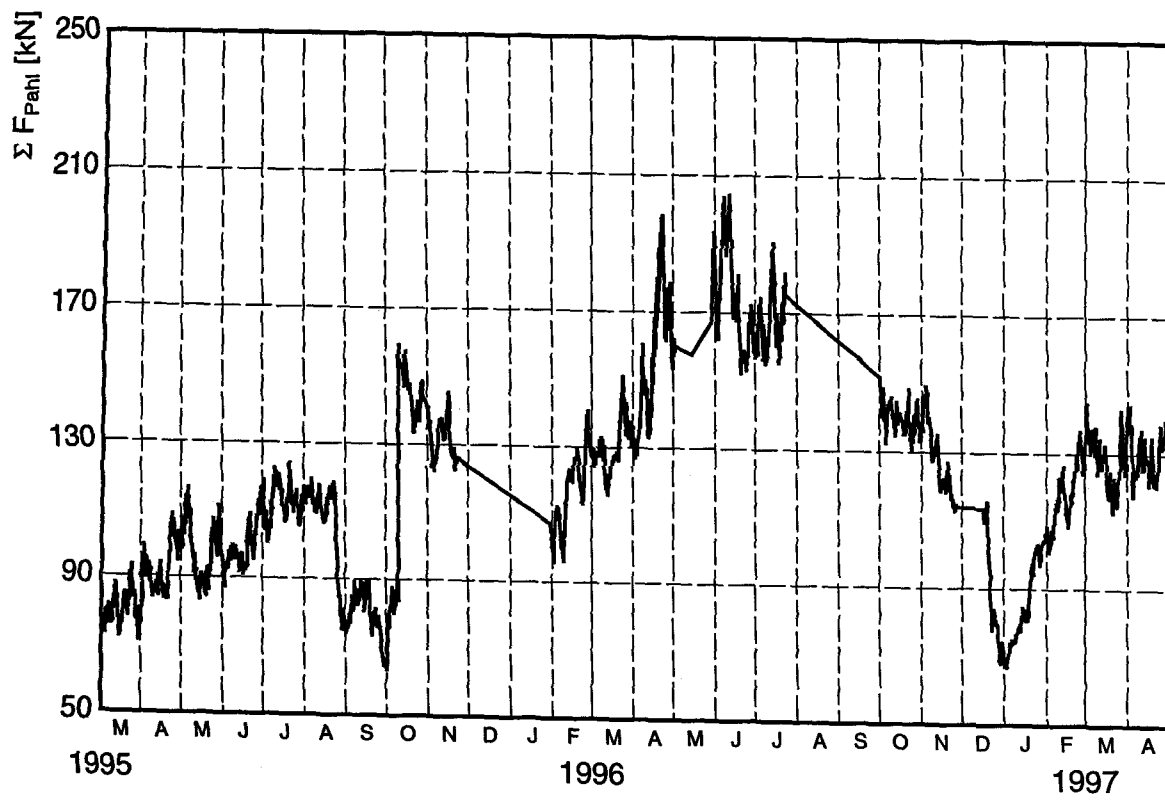


Abb. E.3: Summe der Pfahlkräfte

FACHGEBIETE UND ABTEILUNGEN

